

скочування кусків породи по поверхні породного схилу складного профілю з наступним вільним падінням і непружному, нецентральному ударі об поверхню схилу нижчих груп уступів.

Виконані дослідження направлено на подальше запобігання шкоди від цих процесів і підвищення безпеки відкритих гірничих робіт.

Список літератури

1. Розроблення фізико-математичної моделі скошування бутів гірської породи з породного відкосу висотою понад 30 м / Звіт по НДР. Док. № 8-59-19 **Наук. керівн., проф. Несмашний Є.О.** // КП «Академічний дім» АГН України. Кривий Ріг, 2019. – 67 с.
2. **Ткаченко Г.І.** Фізико-математична модель утворення поверхні зсуву в зовнішніх відвалах залізородних кар'єрів Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг, 2011. - Вип. 28. - С. 65-70.
3. **Несмашний Е.А. и др.** Обоснование оптимальных параметров открытых горных выработок на Криворожских карьерах. - Кривой Рог, Изд-во «Дионис», - 2012, -398 с.: ил.
4. Геомеханическое обоснование параметров отвала «Западный» и его влияние на устойчивость западного борта карьера № 4 ПАО «ЦГОК» / отчет по НИР/ **рук. Несмашный Е.А.** // КП «Академический дом» АГН Украины. Кривой Рог. – 2011
5. **Несмашний Є.О.** Класична механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. Вид-во «Мінерал», Кривий Ріг, 2007. -213 с.
6. **Воронков И.М.** Курс теоретической механики. М.: Гостехиздат, 1954, -552 с.
7. **Барон Л.И.** Характеристики трения горных пород. М.: Наука, 1967, - 208 с.
8. Комп'ютерна програма для оцінки і розрахунку стійкості укосів бортів кар'єрів і ярусів відвалів «KUSTO»: Свідчення про реєстрацію авторського права на твір. Україна, МСП 03680 / **В.О.Півень, Д.М.Шпирок, О.В.Романенко, Є.Я.Бехлер, Є.О.Несмашний, О.В.Максимов, Г.І.Ткаченко.** – № 18720; Заявл. 03.10.06; Зареєстр. 22.11.06.
9. **Nesmashnyi Ye.A.,Tkachenko G.I.** «Stability evaluation of jsc "Yugok" eastern pit wall taking into account seismic mass blasting effect». Вісник Криворізького національного університету, 2017. - Кривий Ріг: .- Вип. 44. - С. 27-32.
10. **Несмашний Е.А., Герасимова Е.В., Ткаченко Г.И.** Геомеханическое обоснование устойчивых параметров отвалов карьера № 4 ПАО «ЦГОК».Вісник Криворізького національного університету. - Кривий Ріг, 2016.- Вип. 43. - С.127-132.
11. Вскрытие и разработка глубоких горизонтов карьера №4 для поддержания производственной мощности комбината (II-я очередь углубки) / Проект // Инженерно -геологические изыскания. ГП «УкрНИПИИ протехнология». -2013
12. **Szabo B.H., Lee G.C.** Derivation of Stiffness Mat-rices for Problems in Plane Elasticity by Galerkin's Method. Intern. J. of Numerical Methods in Engineering, 1, 301-310, 1969
13. **Zienkiewicz O.C.** Finite Elements in the Solution of Field Problems. The Engineer, 507-570, 1971.
14. EOTA. ETAG 027 Guideline for European technical approval of falling rock protection kits. – 2013.
15. **Gerber, W.** Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL). Guideline for the approval of rockfall protection kits / W. Gerber. – Berne: Swiss Federal Research Institute WSL Berne, 2001. – 39 с.

Рукопис подано до редакції 30.04.2020

УДК 691.32

Н. В. АСТАХОВА, канд. техн. наук, доц.
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АКТИВАЦІЇ НА ВЛАСТИВОСТІ НАПОВНЮВАЧА З ЗАЛІЗОВМІСНИХ МІНЕРАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

Метою дослідження є отримання малоцементного бетону, що має високу швидкість формування фізико-механічних властивостей, шляхом модифікації його структури активованими залізистими цеолітами мінеральними комплексами, які представляють собою систему «FeO – Fe₂O₃ – SiO₂ – CaO – CO₂» різного ступеня дисперсності і залізосилікатним лужним колоїдним розчином.

Використовувались **методи** математичного моделювання для дослідження процесів формування структури та фізико-механічних властивостей бетонів, а також стандартні і спеціальні методи дослідження для визначення властивостей наповнювача з залізовмісних мінеральних комплексів та статистичний аналіз для обробки результатів експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що теоретично доведена і експериментально підтверджена можливість модифікації структури бетону шляхом введення до його складу активованих залізистими цеолітами мінеральних комплексів, які представляють собою систему «FeO – Fe₂O₃ – SiO₂ – CaO – CO₂» різного ступеня дисперсності, і залізосилікатного лужного колоїдного розчину, що призводить до збільшення ступеня і швидкості гідратації цементу, а також до підвищення його активності.

© Астахова Н. В., 2020

Практична значимість результатів полягає в отриманні наповнювача зі збільшеною гідравлічною активністю, який представляє собою систему «FeO – Fe₂O₃ – SiO₂ – CaO – CO₂» різного ступеня дисперсності, активованого силікатами лужного металу, що дозволяє економити цемент та розширює сировинну базу будівельних матеріалів.

Результати. В статті проаналізовані результати дослідження наповнювача з залізовмісних мінеральних комплексів.

В якості критерію активуючого впливу наповнювача на властивості цементного каменю використовувалась його гідравлічна активність, яка є однією з найважливіших характеристик якості мінеральних добавок, а також склад новоутворень, які були отримані в процесі його активації.

Встановлено, що активація мінеральних комплексів, які представляють собою систему «FeO – Fe₂O₃ – SiO₂ – CO₂» силікатами лужного металу призводить до збільшення їх гідравлічної активності за рахунок утворення на їх поверхні мінералів групи цеолітів на основі заліза, що сприяє зв'язуванню гідроксиду кальція.

Ключові слова: наповнювач, активація, гідравлічна активність, залізовмісні гірські породи, відходи гірничозбагачувальних комбінатів, силікати натрію, залізисті цеоліти, водоутримуюча здатність.

doi: 10.31721/2306-5435-2020-1-107-106-112

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Територія України займає трохи більше 60 млн гектарів, 160 тисяч з яких вкриті промисловими відходами. Мова йде про 36 млрд тон твердих відходів. Очевидно, що це серйозний виклик екології. Окрім соціально-екологічних проблем, важливим є і економічний напрям. У сучасному світі давно навчилися заробляти на переробці промислових відходів, утилізація яких означає використання відходів як вторинної сировини, будівельних матеріалів тощо.

Аналіз досліджень і публікацій. В наш час, у зв'язку зі збільшенням цін на пісок, щебінь та інші інертні матеріали для будівництва, виникла потреба знайти економічні і раціональні методи використання місцевої сировини для виробництва будівельних матеріалів. Додатковим, посилюючим фактором в схильності до цих рішень є постійно зростаючі ціни на енергоносії і, як наслідок, зростаюча вартість транспортування матеріалів і сировини на будівельний майданчик [1].

Світовий та вітчизняний досвід показує, що оптимальним виходом з цієї ситуації може бути використання бетонів з направлено функціональними органічними та мінеральними добавками, які забезпечують отримання надійних будівельних конструкцій [1].

В теперішній час відходи гірничозбагачувальних комбінатів використовуються для додаткового видобутку корисних компонентів та в якості одного з компонентів складного в'язучого [2, 3] або дрібного заповнювача.

В роботі [4] відзначається, що для виробки 1 т сталі традиційним способом у виробництві застосовується більше 3 т первинних природних сировинних ресурсів (залізорудні матеріали та кокс), які накопичуються навколо підприємств, забруднюючи оточуюче середовище. Крім того, в атмосферу викидаються токсичні речовини, які небезпечні для людини. Особливо це стосується людей, які проживають в містах, що безпосередньо утворились в місцях розташування промислових підприємств, гірничо-металургійних комбінатів [4].

При цьому очевидно, що чим повільніше будуть вводиться в експлуатацію нові мінеральні ресурси тим кращим буде навколишнє середовище. Це можливо за умови залучення до експлуатації вже накопичених техногенних ресурсів, зокрема залізовмісних відходів видобутку і збагачення залізних руд, відходів металургійних підприємств тощо [4].

Відсутність єдиного економічного підходу, здатного оцінити варіанти технологічного розвитку гірничорудних підприємств з врахуванням соціальних та екологічних наслідків, а також комплексного використання природної сировини як цілісного діючого механізму, обумовлює необхідність комплексного вирішення ряду завдань, які б дозволили отримати додаткове джерело ресурсів за рахунок використання відходів виробництва та, найголовніше, відвернути настання екологічної катастрофи, яка прирівнюється за масштабами до ситуації на ЧАЕС [5-7].

Недосконалість законодавчої бази щодо користування надрами та втрати земельних ресурсів за рахунок розширення території відвалів і хвостосховищ, а також низький рівень штрафів для власників гірничорудних підприємств не сприяли комплексному використанню мінеральної сировини [5].

З усією гостротою, яка відповідає сучасним вимогам до функціонування гірничорудних підприємств, ці питання потребують вирішень з урахуванням всіх факторів впливу та особливостей технології залучення відходів збагачення [8, 9]. Великий вклад було внесено дослідниками в проблему розробки заходів щодо зниження негативного впливу на оточуюче середовище вна-

слідок використання відходів збагачення [10]. Проблеми даного питання досліджувалися багатьма вченими як в Україні, так і за кордоном [11, 12].

Постановка задачі. Метою дослідження є отримання малоцементного бетону, що має високу швидкість формування фізико-механічних властивостей, шляхом модифікації його структури активованими залізистими цеолітами мінеральними комплексами і залізосилікатним лужним колоїдним розчином.

Рішення проблеми зниження витрати цементу в технології бетону можливо за рахунок вдосконалення структури і складу цементу включенням в його склад нових ефективних компонентів. Одним з таких компонентів являються відходи гірничозбагачувальних комбінатів, які присутні у великій кількості, займають чималі території та потребують утилізації.

Відходи гірничозбагачувальних комбінатів, як продукти технологічного процесу переробки і збагачення бідної залізної руди, представляють собою штучну кварцево-залізисту мінеральну суміш, яка складається в основному з кварцу, бідних залишків кварцу з гематитом, магнетитом, сидеритом з включенням вільних зерен магнетиту, гематиту та зростку рудних мінералів [13].

Відходи із пульпопроводів характеризуються відносно постійним вмістом кремнезему (58-65%) і заліза (11-18%). Вміст пиловидних, глинистих та мулистих часток не перевищує 5%, органічні домішки відсутні [13].

Викладення матеріалу та результати. В якості критерію активуючого впливу наповнювача на властивості цементного каменю, згідно [14], використовувалась його гідравлічна активність, яка являється однією з найважливіших характеристик якості мінеральних добавок, а також склад новоутворень, які отримують в процесі його активації.

Враховуючи, що згідно [3], цеолітоподібні мінерали на основі заліза утворюються при взаємодії системи « $Fe_2O_3 - SiO_2 - CaO - Na_2O$ » з лугами, в якості вихідних речовин для отримання наповнювачів використовувалися відходи гірничозбагачувальних комбінатів та залізовмісні гірські породи Криворізького залізрудного родовища, що представляють собою систему « $FeO - Fe_2O_3 - SiO_2 - CO_2$ » та відрізняються вмістом основних оксидів та їх співвідношенням. В якості активуючого реагенту в кожному зі способів використовувались силікати натрію, у вигляді водного розчину – рідкого скла.

Отримання наповнювача здійснювали як простим помелом вихідних речовин, так і їх помелом при одночасній активації, яку здійснювали двома способами: мокрим та сухим.

При активації наповнювача в якості активуючої речовини використовували силікати натрію. При цьому було отримано три види сумішей з різною концентрацією компонентів (табл. 1).

Таблиця 1

Співвідношення компонентів при приготуванні добавки

Серія	Співвідношення між залізовмісним компонентом та силікатами натрію	Співвідношення між залізовмісним компонентом та рідким склом	Кількість залізовмісного компонента, г	Кількість рідкого скла, мл
05	0,1	1 : 0,5	100	40
10	0,2	1 : 1	100	80
20	0,4	1 : 2	100	160
30	0,6	1 : 3	100	240
00	0	0 : 1	-	100

Активация залізовмісних мінеральних речовин здійснювалася шляхом їх механічної обробки разом з силікатами натрію з метою розкриття нових поверхонь з некомпенсованими хімічними зв'язками.

В дослідженнях проведено обґрунтування необхідних властивостей активованого наповнювача. Дослідження активованих залізовмісних мінеральних речовин (як відходів гірничозбагачувальних комбінатів так і гірських порід) здійснювалось для виявлення таких показників їх властивостей, які дозволяють при прийнятній легкоукладальності бетонної суміші досягнути найбільшої швидкості набору міцності бетону та найменших деформацій його усадки.

В лабораторних умовах була проведена активація наповнювачів сухим та мокрим способами в кульовому млині. Параметри завантаження кульового млина відпрацьовувалися для досягнення найбільшого розмелюючого ефекту, що дозволило отримати питому поверхню в широкому діапазоні: від 500 до 800 м²/кг.

Тривалість помелу при сухому способі активації складала 84, 210, 350 хв, що дозволило досягнути збільшення питомої поверхні відповідно на 150, 250 і 305 м²/кг від вихідної.

Тривалість помелу при мокрому способі активації складала 52, 145, 230 хв для досягнення заданого приросту питомої поверхні.

Суть сухого способу активації, що проводили з рідким склом, полягала в наступному. В кульовому млині проводили помел залізовмісних гірських порід відповідно до методики, описаної вище, після чого наважки отриманого продукту (кожна по 100 г) поміщали в три скляні колби ємністю по 500 мл. В кожну з колб добавляли певну кількість натрієвого рідкого скла, яке характеризувалося модулем 2,8, щільністю 1250 кг/м³.

Кожна з приготовлених сумішей нагрівалась на електроплиті з терморегулятором до заданої температури та витримувалась при цій температурі протягом заданого часу. Після чого нагрів припиняли, і суміш повільно охолоджувалась до температури 20°C з наступною витримкою на протязі доби.

Після цього рідина з колби зливалась в іншу ємкість, а частинки залізовмісної речовини (відходів гірничозбагачувальних комбінатів або гірських порід) що залишилися, промивали водою та висушували до постійної маси.

В результаті були отримані водні колоїдні розчини продуктів взаємодії залізовмісного мінерального комплексу з силікатами натрію і активовані залізовмісні мінеральні комплекси в сухому вигляді. Отримані колоїдні розчини добавляли в воду затвернення портландцементу в кількості, яка була задана планом експерименту.

При мокрому способі активації помел залізовмісних мінеральних комплексів в кульовому млині (за методикою, яка була вказана вище), проводився безпосередньо з рідким склом в співвідношеннях, аналогічних даним табл. 1, після чого отримані суміші нагрівалися за методикою сухого способу активації.

Дослідження проводили для звичайних та активованих залізовмісних речовин (відходів гірничозбагачувальних комбінатів та гірських порід) при різних величинах питомої поверхні їх часток (від 300 до 750 м²/кг).

Для сухого і мокрого способів активації питому поверхню визначали по гранулометричному складу, отриманому седиментаційним аналізом фракцій подрібнених залізовмісних речовин.

Зміну властивостей наповнювача контролювали за його гідравлічною активністю, яку визначали кількістю зв'язаного ним вапна, а також за водоутримуючою здатністю пасти, виготовленої шляхом змішування наповнювача з водою.

В умовах експерименту при отриманні наповнювача з одночасною його активацією силікатами натрію, як сухим, так і мокрим способом, як показано на рис. 1, спостерігається збільшення його гідравлічної активності. При цьому спостерігаються близькі значення гідравлічної активності між мокрим і сухим способами активації.

Встановлено, що при збільшенні питомої поверхні наповнювача до 500 м²/кг, ефективність сухого механохімічного способу активації вища в порівнянні з мокрим. При досягненні більш високих значень питомої поверхні (більше 500 м²/кг) активність наповнювача при мокрому способі активації збільшується, і становиться трохи більшою, ніж при сухому способі.

Порівняння гідравлічної активності наповнювачів,

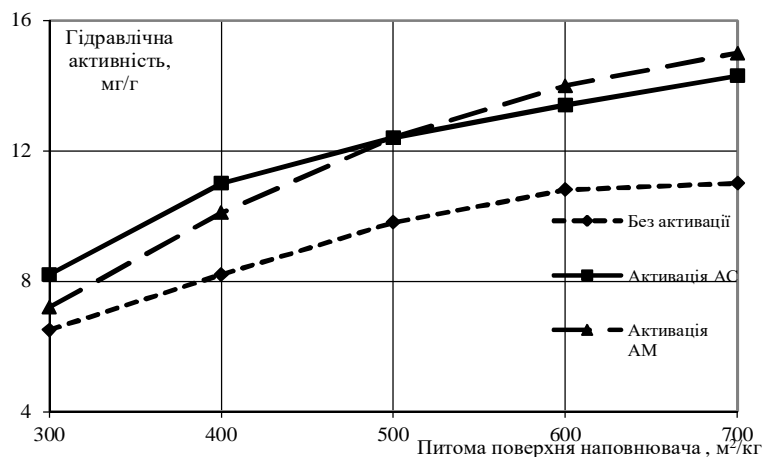


Рис. 1. Зміна гідравлічної активності наповнювача в залежності від його питомої поверхні і методу активації

отриманих з відходів гірничозбагачувальних комбінатів та залізовмісних гірських порід (табл. 2) показало, що використані гірські породи мають дещо більшу гідравлічну активність в порівнянні з відходами гірничозбагачувальних комбінатів. Це можна пояснити лише більшим вмістом оксидів заліза в гірських породах.

Таблиця 2

Гідравлічна активність наповнювача при сухому способі активації

Вид залізовмісного наповнювача	Гідравлічна активність, мг/г при питомій поверхні наповнювача, м ² /кг			
	300	400	500	600
Гірські породи	7,8	10,2	12,0	13,5
Відходи ГЗК	7,2	8,0	9,5	10,4

Таким чином, активація наповнювача силікатами натрію збільшує його гідравлічну активність. При цьому його гідравлічна активність збільшується на 50 – 100 % в порівнянні з неактивованим наповнювачем того ж мінералогічного складу.

В умовах експерименту активація сухим способом наповнювача призводить до збільшення його водоутримуючої здатності (рис. 2).

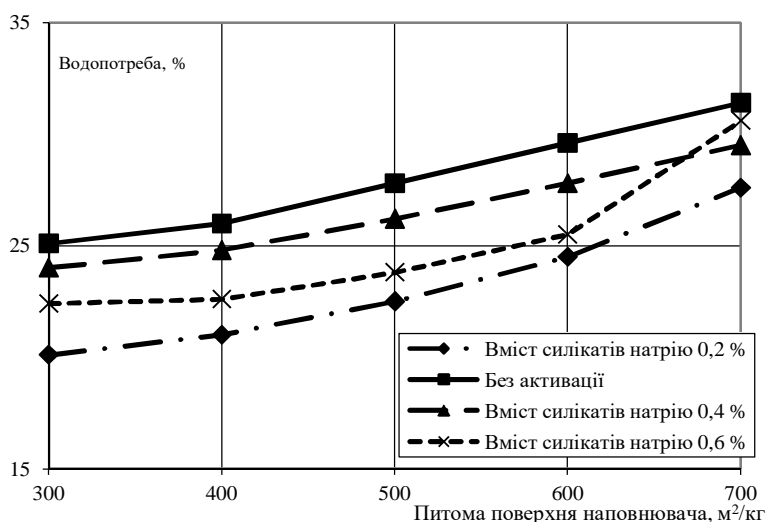


Рис. 2. Зміна водопотреби паст з наповнювача в залежності від його питомої поверхні і вмісту силікатів натрію при активації сухим способом

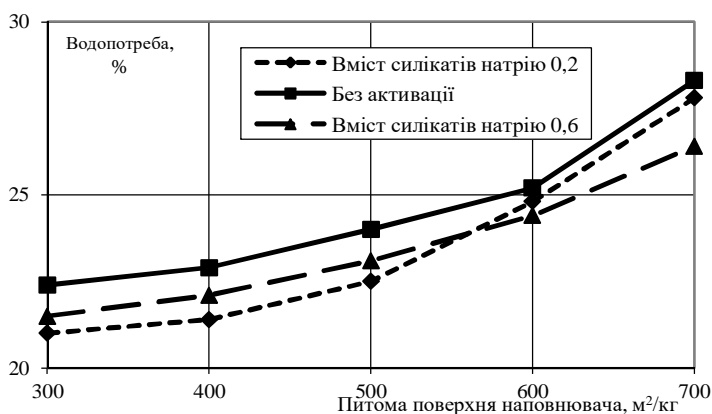


Рис. 3. Зміна водопотреби паст з наповнювача в залежності від його питомої поверхні і вмісту силікатів натрію при активації мокрим способом

Так для пасти, отриманої змішуванням активованого наповнювача з водою, при збільшенні його питомої поверхні від 300 до 600 м²/кг, водопотреба пасти у всьому застосованому діапазоні вмісту силікатів натрію при активації наповнювача (від 0,2 до 0,6 % від маси наповнювача) збільшується відповідно до 25-30 %. Однак водопотреба пасти залишається на 5-10 % нижче водопотреби пасти на неактивованому наповнювачі.

Тільки при високих значеннях питомої поверхні (більше 600 м²/кг), і витраті силікатів натрію в кількості 0,6 % від маси наповнювача (рис. 2) спостерігається зближення величини водопотреби пасти з активованого наповнювача порівняно з пастою з неактивованого наповнювача.

Активація мокрим способом (рис. 3) наповнювача не призводить до значних змін його водопотреби.

Зростання водопотреби пасти незначне при її питомій поверхні від 300 до 500 м²/кг – від 22 до 24 %. При більших значеннях питомої поверхні приріст водопотреби збільшується, однак залишається практично рівним або меншим аналогічного для пасти з еквівале-

нтною фракцією неактивованого наповнювача.

Багато в чому зниження значення водопотреби пов'язане з підвищеною в 2-3 рази витратою силікатів натрію, які були введені при активації. Крім того, очевидно, при мокрому помелі не вдається досягнути однакового ступеня шорсткості і руйнування часток, тут переважає обдирання поверхні при більшому ковзанні часток і мелючих тіл.

Зростання водоутримуючої здатності активованого наповнювача, особливо сухим способом, дозволяє зробити ще один важливий висновок. В дослідях не спостерігається зростання пластифікуючої здатності наповнювача навіть при підвищених витратах силікатів натрію, особливо при досягненні високої питомої поверхні.

Очевидно, при диспергації наповнювача без силікатів натрію більша частина енергії витрачається на руйнування зерен наповнювача або руйнування флокул, які постійно утворюються через наявність на поверхні часток скомпенсованого електричного заряду, який призводить до їх злипання.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином, активація залізовмісних мінеральних комплексів силікатами натрію при помелі підвищує їх гідравлічну активність.

Встановлено, що активація мінеральних комплексів силікатами лужного металу призводить до збільшення їх гідравлічної активності за рахунок утворення на їх поверхні мінералів групи цеолітів на основі заліза, що сприяє зв'язуванню гідроксиду кальція.

Список літератури

1. **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.
2. **Резниченко, П. Т.** Охрана окружающей среды и использование отходов промышленности [Текст] / П. Т. Резниченко, А. П. Чехов. – Днепропетровск: Промінь, 1973. – 94 с.
3. **Шишкин А.А.** Бетоны на основе шламов обогащения железных руд и щелочного компонента / **А.А. Шишкин** // Дис. канд. техн. наук. Кривой Рог, 1989. - 177 с.
4. **Губіна В. Г., Горлицький Б. О.** Проблема залізовмісних відходів гірничо-металургійного комплексу України — системний підхід / **В. Г. Губіна, Б. О. Горлицький** // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища. — К.: ІГНС, 2009. — Вип. 17. — С. 79-92.
5. **Федорченко А. О., Попов С. О.** Розробка параметрів економічного оцінювання використання відходів збагачення гірничорудних підприємств / **А. О. Федорченко, С. О. Попов** // Технологический аудит и резервы производства. – Харьков: Технологический центр – 2016. - № 3/4(29). – С. 47 – 54.
6. **Федорченко А. О.** Економічні результати природоохоронної діяльності у гірничорудній промисловості від використання відходів [Електронний ресурс] / **А. О. Федорченко** // Ефективна економіка. — 2010. — № 2. — Режим доступу: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=132>
7. **Федорченко А. О.** Удосконалення методу еколого-економічної оцінки процесів технологічного розвитку гірничорудних підприємств [Текст] / **А. О. Федорченко** // Вісник Криворізького технічного університету. — 2011. — № 28. — С. 297–300.
8. **Федорченко А. О.** Економіко-математичне моделювання показників оцінки процесів технологічного розвитку гірничорудних підприємств [Текст] / **А. О. Федорченко** // Вісник Криворізького технічного університету. — 2012. — № 31. — С. 358–362.
9. **Fedorchenko A.** Methods of ecological-economic estimation of using concentration wastes of ore-mining enterprises [Text] / **A. Fedorchenko** // Economics of development. — 2013. — № 4. — P. 85–89.
10. **Benzaazoua M.** Environmental desulphurization of four Canadian mine tailings using froth flotation [Text] / **M. Benzaazoua, B. Bussiere, M. Kongolo, J. McLaughlin, P. Marion** // International Journal of Mineral Processing. — 2006. — Vol. 60, № 1. — P. 57–74. doi:10.1016/s0301-7516(00)00006-5
11. **Cisternas, L. A.** Effect of the objective function in the design of concentration plants [Text] / **L. A. Cisternas, F. Luca, E. D. G Ivez** // Minerals Engineering. — 2014. — № 63. — P. 16–24. doi:10.1016/j.mineng.2013.10.007
12. **Mirmohammadi, M.** Designing of an environmental assessment algorithm for surface mining projects [Text] / **M. Mirmohammadi, J. Gholamnejad, V. Fattahpour, P. Seyedsadri, Y. Ghorbani** // Journal of Environmental Management. — 2009. — Vol. 90, № 8. — P. 2422–2435. doi:10.1016/j.jenvman.2008.12.007
13. **Стороженко Л.И. и др.** Железобетонные конструкции из бетонов на отходах горнорудной и металлургической промышленности / **Стороженко Л.И., Шевченко Б. Н., Ильенко В.М. и др.** // Киев: Будівельник, 1982. – 72 с.
14. **Волженский А.В.** Минеральные вяжущие вещества / **А.В. Волженский** // М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.

Рукопис подано до редакції 20.03.2020