

УДК 669:658.56

DOI <https://doi.org/10.26661/2071-3789-2020-1-05>

Серета Борис Петрович, завідувач кафедри, професор, доктор технічних наук, Дніпровський державний технічний університет, Каменське. ORCID: 0000-0002-9518-381X

Муковська Дар'я Яківна, аспірант, Дніпровський державний технічний університет, Каменське

ГОЛОВНІ АСПЕКТИ РЕЦИКЛІНГУ ВІДХОДІВ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ПРИКЛАДІ ПРОМИСЛОВОСТІ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Виконано огляд основних процесів рециклінгу технологічних відходів головного виробництва металургійних підприємств, зокрема, металургійного шлаку. Розглянуто головні аспекти функціонування цеху переробки шлаків металургійного підприємства півдня України. Визначено основні завдання та виробничі функції, структура, потужності, виробничі показники цеху переробки шлаків. Наведено обсяг, структура, основних виробничих показників цеху переробки шлаків за дванадцять послідовних місяців. Показано доцільність використання продуктів переробки шлаків у власному виробництві.

Ключові слова: кар'єр, металургійні шлаки, шлакові відвали, рециклінг, технологічні відходи, основне виробництво, доменні шлаки, мартенівські шлаки

Постановка проблеми. Технологічні процеси, що пов'язані з виробничою діяльністю промислових підприємств, супроводжуються утворенням значної кількості відходів виробництва, які представляють собою залишки матеріалів сировини та напівфабрикатів, які утворюються у процесі виробництва продукції та частково або повністю втратили свої якості та не відповідають встановленим стандартам [1].

За можливістю використання розрізняють утилізовані та не утилізовані відходи виробництва. Для перших існує технологія переробки та залучення до виробничого обороту, а для других вона на даний час є відсутньою [2].

Із всієї кількості відходів, що утворюються на території України найбільший обсяг приходить на підприємства гірничо-металургійного комплексу (більше ніж 120 млн. т на рік), зокрема, на металургійні підприємства приходить близько 25 % [3]. Річні обсяги відходів металургійного виробництва складають: доменних шлаків – 5,44 млн. т; сталеплавильних шлаків – 2,92 млн. т; сталеплавильних шлаків – 965 тис. т; окалини – 307,78 тис. т [4].

У зв'язку з вищенаведеним перед вітчизняними металургійними підприємствами постає питання удосконалення процесів рециклінгу – комплексної переробки відходів виробництва з подальшим витяганням з них корисних компонентів для використання у виробничій діяльності [5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Ступінь використання та залучення до виробничих процесів відходів в якості вторинної сировини залежить від технологічного рівня підприємства та пріоритетів його промислової політики [6]. Так, за 2016 рік у чорній металургії України було утилізовано 88,3% технологічних відходів, приблизно 30% з яких було використано повторно під час технологічного процесу виплавлення сталі [7].

Відомо, що металургійний шлак є головним джерелом одержання залізовмісних відходів. Так, на вітчизняних металургійних підприємствах, згідно з роботою [8], утворення металургійного шлаку складає 57...63% від загальної кількості відходів. Металургійні шлаки представляють собою технологічні відходи, що утворюються за умов високих температур внаслідок фізико-хімічної взаємодії компонентів вихідних твердих матеріалів та газового середовища та є відходами доменного та сталеплавильного виробництва [9,10]. Шлаки є багатокомпонентними системами, до їх складу входять невелика кількість сполук цільових металів, оксиди кальцію, кремнію, алюмінію, магнію та ін. Масова частка заліза

у доменних шлаках складає до 5 % у вигляді корольків, сталеплавильні вміщують 10...15% заліза [11].

Вихід металургійних шлаків є досить значним: від 10 до 40% [12]. Так, на одну тунну виплавленого металу його кількість складає 270 кг доменних, 120 кг конверторних і 160 кг мартенівських шлаків. Таким чином, шлаки є найбільш великотоннажними твердими відходами металургії [13].

Металургійні шлаки створюються у доменному та сталеплавильному виробництвах. Ступінь їх утилізації у процесі доменного виробництва здебільшого залежить від технологічного процесу підприємств та складає від 80 до 100% [14]. Так, наприклад, за результатами аналізу виробничого процесу було визначено ступінь рециклінгу основних технологічних відходів, який складає для доменного шлаку – 53%, для мартенівського – 58%. Металургійні шлаки, які не утилізуються у виробничому циклі чи тимчасово зберігаються, очікуючи на переробку розміщуються у структурних підрозділах переробки шлаків [15].

Основним засобом переробки доменного шлаку є грануляція, тобто процес переробки розплаву шлаку на гранули шляхом швидкого охолодження водою, повітрям, паром чи іншим газом [16]. Часто гранульовані шлаки застосовують у будівельній галузі. Більшість шлаків можна використовувати під час виготовлення шлакового щебеню, шлакової пемзи та цементу. Окрім того, якщо гранульовані шлаки доменного виробництва комбінувати з менш міцними матеріалами, то такими матеріалами можна замінити асфальтобетонні суміші. Застосування доменного шлаку під час виробництва портландцементу та інших будівельних матеріалів дає змогу заощаджувати первинні мінеральні ресурси (пісок, вапно, глину, щебінь), клінкерний цемент та понизити паливо-енергетичні витрати виробництва майже у двічі [17].

З відвального доменного шлаку за допомогою дробильного обладнання виготовляють піщано-щебеневі суміші. У ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» функціонує дробильне обладнання власної розробки для виготовлення піщано-щебених сумішей. Більш удосконаленим засобом переробки відвального шлаку є одержання фракційного щебеню. Таку продукцію виготовляють на дробильно-сортувальних комплексах, що дають змогу не тільки дробити відвальний шлак, а й розділяти подрібнений матеріал за фракціями. Сучасні дробильно-сортувальні комплекси, як правило, обладnano магнітними сепараторами для витягування скрапу, що вміщує залізо. Так, наприклад на ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» виробнича потужність такого комплексу дає змогу переробляти більше половини створеного на комбінаті доменного шлаку. Оскільки, частину шлаку поточного виробництва піддають гранулюванню, то переробляють і раніше накопичені відвали [18].

Шлаки, що мають у своєму складі значну кількість сполук оксидів кальцію та фосфору, можна використовувати як добриво, а також для покращення структури ґрунтів. Їх подальша переробка полягає у подрібненні шлаків до розмірів 20 мм з одночасною магнітною сепарацією [19].

На відміну від доменних шлаків сталеплавильні шлаки поточного виробництва через нестійку структуру в будівельній галузі практично не використовують. Через значний вміст оксидів кальцію та заліза такі шлаки більшою мірою ніж доменні є схильними до гідратії [20]. Побічним продуктом сталеплавильних шлаків є розплав оксидів, які містяться у чавуні та металургійному ломі [21]. Окрім застосування шлаків у будівельній галузі їх застосовують у власному виробництві, як витягування матеріалів, що містять метал, який є необхідним для основного металургійного виробництва [22]. Так, кінцевим результатом переробки доменного шлаку може бути скрап чавуну, а результатом переробки мартенівського шлаку – різноманітні залізовмісні відходи [23].

Виклад основного матеріалу. На виробництві підприємства ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» переважну частину відходів, що вміщують метал, якого створено у виробничому циклі, складають металургійні шлаки, а саме доменні та мартенівські, які займають величезні площі та, взаємодіючи з навколишнім середовищем, здійснюють шкоду довкіллю.

Технологічні відходи виробництва, які не утилізують у виробничому циклі або тимчасово зберігають, очікуючи на переробку, розміщують у цеху переробки шлаків.

Цех переробки шлаків є структурним підрозділом металургійного підприємства, яке організує та забезпечує приймання, вивантаження та складування доменних, мартенівських шлаків поточного виробництва та відходів цехів підприємства, грануляції (зливу рідкого доменного шлаку на гран басейні) та відвантаження споживачам доменного (гранульованого) шлаку за затвердженим план-графіком. Також у цеху переробки шлаків виконують витягування чавуну із доменних шлаків, витягування скрапу сталюого та доменного присадків із мартенівських шлаків.

З'являється можливість реалізації переробленого фракційного шлаку споживачам для будівництва доріг та інших потреб, а також для звільнення площ для складування відходів. Це дозволяє понизити витрати на зберігання відходів, забезпечити виробництво вторинного металу й одержати додатковий прибуток від продажу шлаку, переробленого на щебінь, пісок або інші будівельні матеріали.

Цех переробки шлаків включає в себе ділянку гран-басейну та площадки зневоднення гранульованого шлаку, а також ділянки переробки доменних шлаків і мартенівських шлаків.

Ділянка гран-басейну та площадки зневоднення гранульованого шлаку забезпечують виробництво, складування, зневоднення гранульованого доменного шлаку та його відвантаження споживачам. Рідкий доменний шлак прямує у ковшах на гран-басейн, де його зливають у секції басейну, завантажують майданчик зневоднення гранульованого шлаку, а ковшові залишки направляють на ділянку переробки доменних шлаків. На майданчику зневоднення гранульований шлак завантажують у вагони та направляють споживачам.

Ділянка переробки доменних шлаків виконує витягування скрапу з доменних шлаків, забезпечує кантівку ковшів з рідким доменним шлаком, вилучення залишків шлаку з ковшів після його зливання у гран-басейні, відбирання з тупиків шлаку та його перевезення й складування.

Ділянка переробки мартенівських шлаків забезпечує витягування сталюого скрапу з мартенівських шлаків, виконує витягування металовмісних відходів, сортування шлаку за фракціями, забезпечує відбирання від тупиків мартенівського шлаку та інших відходів виробництва, складування їх у відвал.

Основними виробничими показниками цеху переробки шлаків є кінцеві продукти їх переробки, а саме скрап чавуну, шлак фракціями 0...10 мм, шлак фракціями 10...40 мм, шлак фракціями 60...150 мм, шлак рядовий. Скрап чавуну застосовують в основному виробництві, а фракційний та рядовий шлак використовують для загально-будівельних робіт. Структуру та обсяги продуктів переробки доменних шлаків подано на рис. 1.

Кінцевими продуктами переробки мартенівських шлаків є металовмісні відходи (МОС) та мартенівський шлак фракції 10...60 мм, які здебільшого застосовують у власному виробництві. Структуру та обсяги продуктів переробки мартенівських шлаків подано на рис. 2.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Металургійні шлаки є небажаними, але й неминучими на даний час продуктами діяльності металургійних підприємств. Аналізуючи сказане вище, можна зробити висновки, що використання технологічних відходів вирішують комплекс питань щодо зниження техногенного навантаження на розта-

шовані поблизу території, зменшують потребу первинної сировини, зменшують забруднення навколишнього середовища, скорочують земельні площі накопичення технологічних відходів. Тому рециклінг технологічних відходів є доцільним не тільки з економічної, а і з екологічної точки зору.

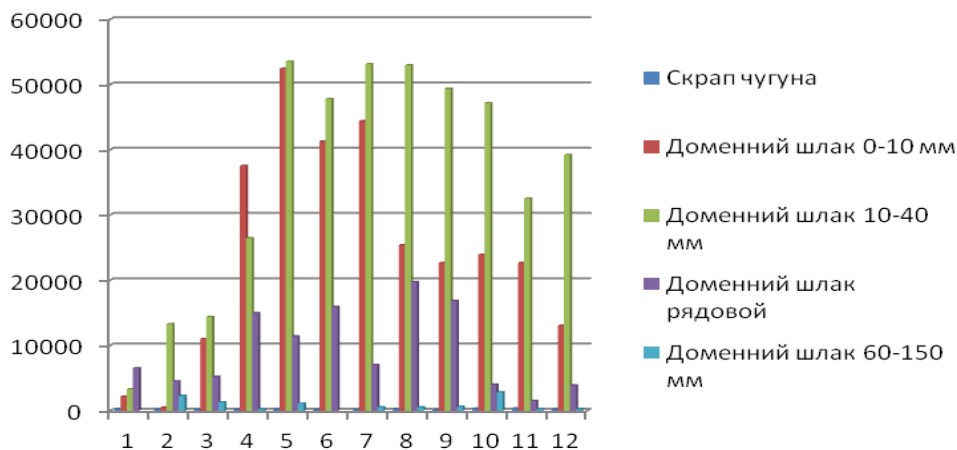


Рисунок 1 – Структура та об'єми продуктів переробки доменних шлаків за дванадцять послідовних місяців, тис. т

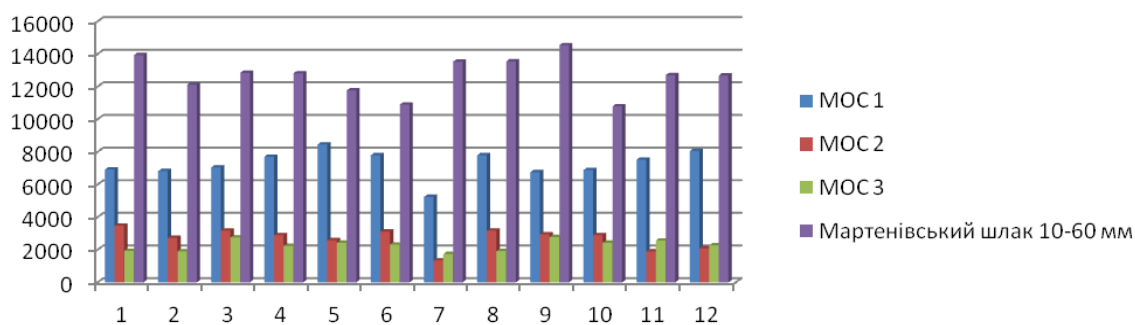


Рисунок 2 – Структура та об'єми продуктів переробки доменних шлаків за дванадцять послідовних місяців, тис. т

Проаналізовано головні аспекти рециклінгу металургійних підприємств, розглянуто функціонування цеху переробки шлаків металургійного підприємства півдня України. Описано виробничі функції, структуру та потужності цеху. Наведено обсяг, структура, основних виробничих показників переробки шлаків за дванадцять послідовних місяців.

Загальна кількість кінцевих продуктів переробки доменних шлаків склала – 856 тис. т, а продуктів переробки мартенівських шлаків – 299 тис. т.

Таким чином застосування заходів щодо рециклінгу технологічних відходів основного виробництва дають змогу частково розв'язати проблему дефіциту залізорудної сировини та покращити екологічну ситуацію у регіоні.

Бібліографічний перелік

1. Валуев Д. В., Гизатулин Р. А. Технологии переработки металлургических отходов. Томск: ТПУ, 2012. 196 с.
2. Копач П. І., Чілій Д. І. Аналіз процесів відходоутворення на виробництвах гірничо-металургійного комплексу. *Екологія та природокористування*. 2012. Вип.15. С. 118-132.
3. Демидик В. Н. Устойчивое развитие и рециклінг отходов в черной металлургии. *Металл и литье Украины*. 2014. № 8(55). С. 36-39.

4. Сергеев В. В., Копач П. І. Основні шляхи досягнення цілей сталого розвитку гірничо-металургійних регіонів. *Екологія та природокористування*. 2013. Вип. 16. С. 167-180.
5. Вороніна Р. М. Логістика рециклінгу. *Вісник Національного університету «Львівська Політехніка»*. Львів, 2008. № 623. С. 28-33.
6. Зарічанська Є. В. Статистичний аспект поводження з відходами: реалії та перспективи. *Донбас 2020: перспективи розвитку очима молодих вчених: матеріали V наук.-практ. конф. у рамках програми «2010 рік – рік регіональних інновацій»* (Донецьк, 25-27 трав. 2010р.). Донецьк, 2010. С. 720-724.
7. Кочешкова І. М., Трушкіна Н. В. Організаційно-економічний механізм управління рециклінгом відходів. *Вісник Миколаївського національного університету ім. В. О. Сухомлинського*. Миколаїв, 2018. Вип. 22. С. 669-672.
8. Носков В. А., Макогон В. Ф. Состояние и перспективы утилизации железосодержащих отходов в металлургическом производстве Украины. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2001. № 4. С. 98.
9. Авраменко С. Х., Волох Ю. В. Екологічні проблеми від накопичення твердих промислових відходів та шляхи використання металургійних шлаків. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2010. № 35. С. 200-206.
10. Гельманова З. Ф., Жаксыбаев Д. М. Особенности образования и использования вторичных ресурсов в металлургическом производстве. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 6. С. 749-753.
11. Губіна В. Г., Горлицький Б. О. Проблема залізовмісних відходів гірничо-металургійного комплексу України – системний підхід. *Екологічний вісник*. 2008. № 3. С. 79-92.
12. Гусева Ю. О., Сычова Т. С., Моторина О. С. Формирование шлаков металлургического передела и основные направления их применения *Теория и технология металлургического производства*. 2013. № 1 (13). С. 59-62.
13. Лотош В. Е. Переработка отходов природопользования. Екатеринбург: «Полиграфист», 2007. 503 с.
14. Підлісна О. А., Філозоф В. М. Економічна ефективність використання вторинних відходів промисловості. *Економічний Вісник НТУУ «КПІ»: збірник наукових праць*. Київ, 2011. №. 8. С. 173-178.
15. Sereda V. P., Mukovska D. Ya. Research process of technological waste recycling in the conditions of the career of the metallurgical enterprises. *Математичне моделювання*. 2020. № 1(42). С. 93-98.
16. Щербаков В. П. Основы доменного производства. Владимир : Металлургия, 1969. С. 326.
17. Романов П. С., Романова И. П. Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям развития науки и техники. *Синергия*. 2016. № 2. С. 94-99.
18. Филоненко А. В. Анализ современных технологий переработки шлаков доменного производства. *Экология и промышленность*. 2018. № 3-4. С. 91-104.
19. Краюшкина В. А. Обзор металлургических вторичных материальных ресурсов и их применение. *Молодой ученый*. 2019. № 35 (273). С. 14-16.
20. Назюта Л. Ю., Смотров А. В., Губанова А. В. Структура образования и рециклінг технологических отходов на металлургических предприятиях полного цикла. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2011. № 4. С. 44-54.
21. Евдокимов Е. В., Дедов А. С. Особенности утилизации и переработки шлака. *«Поколение будущего: взгляд молодых ученых–2018»*. 2018. С. 27-30.
22. Котов Ю. Т., Разкевич Ф. С., Гончарова К. В. Аналіз утворення відходів металургійного виробництва і розробка методів їх повторного використання на ПАТ «Арселорміттал Кривий Ріг». *Гірничий вісник Криворізького національного університету*. 2012. № 95 (1). С. 232-236.
23. Sereda V. P., Mukovska D. Ya. Analysis of metallurgical enterprises functioning career. *Математичне моделювання*. 2020. № 3(42). С. 118-123.

References

1. Valuev D. V., Gizatulin P. A. Tekhnologii pererabotki metallurgicheskikh otkhodov. Tomsk: TPU, 2012. 196 p.

2. Kopach P. I., Chily D. I. Analiz protsesiv vidkhodoutvorenniya na vyrobnytstvakh girnycho-metalurgiynogo kompleksu. *Ekologiya ta pryrodokorystuvannya*. 2012. vol. 15. pp. 118-132.
3. Demidik V. N. Ustoychivoe razvitiei retsikling otkhdov v chernoy metallurgii razvitie i retsikling otkhdov v chernoy metallurgii. *Metall i lit'e Ukrainy*. 2014. no. 8(55). pp. 36-39.
4. Sergeev V. V., Kopach P. I. Osnovni shlyakhy dosyagnennya tsiley stalogo rozvytku girnycho-metalurgiynykh regioniv. *Ekologiya ta pryrodokorystuvannya*. 2013. vol. 16. pp. 167-180.
5. Voronina R. M. Logistika retsyklingu. *Visnyk Natsional'nogo universytetu «L'viv's'ka Politekhnika»*. L'viv, 2008. no. 623. pp. 28-33.
6. Zarichans'ka E. V. Stasystychnyy aspekt povodzhennya z vidkhdamy: realiy ta perzpektyty. *Donbas 2020: perspektyvy rozvyku ochyma molodykh: materialy V nauk.-prakt. konf. u ramkakh programy «2010 rik – rik regional'nykh innovatsiy»* (Donets'k, 25-27.05.2010 r.). Donets'k, 2010. pp. 720-724.
7. Kocheshkova I. M., Trushkina N. V. Organizatsiyno-ekonomichny mekhanizm upravlinnya rezyklingom vidkhdiv. *Visnyk Mykolayvs'kogo natsional'nogo universytetu im. V. O. Sukhmlyns'kogo*. Mykolayv, 2018. vol. 22. pp. 669-672.
8. Noskov V. A., Makogon V. F. Sostoyanie i perspektivy utilizatsii zhelezosoderzhashchikh otkhdov v metallurgicheskoy proizvodstve Ukrainy. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2001. no. 4. p. 98.
9. Avramenko S. Kh, Volokh Yu. V. Ekologichni problemy vid nakopychennya tverdykh promyslovykh vidkhdiv ta shlyakhy vykoristannya metalyrgiynykh shlakiv. *Zbirnyk naukovykh prats' Natsional'nogo girnychogo universytetu*. 2010. no. 35. pp. 200-206.
10. Gel'manova Z. F., Zhakysbaev D. M. Osobennosti obrazovaniya i ispol'zovaniya vtorichnykh resursov v mtallurgicheskoy proizvodstve. *Mezhdunarodny zhurnal prikladnykh i fyndamental'nykh issledovaniy*. 2016. no. 6. pp. 749-753.
11. Gubina V. G., Gorlyts'ky B. O. Problema zalizovmisnykh vidkhdiv girnycho-metalurgiynogo kompleksu Ukrainy – systemny pidkhid. *Ekologichny visnyk*. 2008. no. 3. pp. 79-92.
12. Guseva Yu. O., Sycheva T. S., Motorina O. S. Formirovanie shlakov metallutgicheskogo peredela i osnovnye napravleniya ikh primeneniya. Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva. 2013. no. 1 (13). pp. 59-62.
13. Lotosh V. E. Pererabotka otkhdov prirodonol'zovaniya. Ekaterenbург: «Полиграфист», 2007. 503 p.
14. Pidlisna O. A., Filozof V. M. Ekonomichna efektyvnist' vykorystannya btorynnykh vidkhdiv promyslovosti. *Ekonomichny visnyk NTUU «KPI»: Zbirnyk naukovykh prats'*. Kyiv, 2011. no. 8. pp. 173-178.
15. Sereda B. P., Mukovska D. Ya. Research process of technological waste recycling in the conditions of the career of the metallurgical enterprises. *Matematychny modelyuvannya*. 2020. no. 1(42). pp. 93-98.
16. Shcherbakov V. P. Osnovy domennogo proizvodstva. Vladimir : Metallurgiya, 1969. p. 326.
17. Romanov P. S., Romanova I. P. Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya po prioritetnym napravleniyam razvitiya nauki i tekhniki. *Sinerhiya*. 2016. no. 2. pp. 94-99.
18. Filonenko A. V. Analiz sovremennykh tekhnologiy pererabotki shlakov domennogo proizvodstva. *Ekologiya i promyslennost'*. 2018. no. 3-4. pp. 91-104.
19. Krayushkina V. A. Obzor metallurgicheskikh vtorichnykh material'nykh resursov i ikh primeneniye. *Molodoy ucheny*. 2019. no. 35 (273). pp. 14-16.
20. Nazyuta L. Yu., Smotrov A. V., Gubanova A. V. Struktura obrazovaniya i retsikling tekhnologicheskikh otkhdov na metallurgicheskikh predpriyatiyakh polnogo tsikla. *Energotekhnologii i resersoberezhenie*. 2011. no. 4. pp. 44-54.
21. Evdokimov E. V., Dedov A. S. Osobennosti utilizatsii i pererabotki shlaka. «*Pokolenie budushchego: vglyad molodykh uchenykh-2018*». 2018. pp. 27-30.
22. Kotov Yu. T., Razkevich F. S., Goncharova K. V. Analiz utvorenniya vidkhdiv metalurgiynogo vyrobnytstva i rozrobka metodiv ikh povtornogo vykorystannya na PAT «Arselormittal Kryvy Rih». *Girnychy Visnyk Kryvoriz'kogo natsional'nogo universytetu*. 2012. no. 95 (1). pp. 232-236.

23. Sereda B. P., Mukovska D. Ya. Analysis of metallurgical enterprises functioning career. *Matematychni modlyuvannya*. 2020. no. 3(42). pp. 118-123.

Sereda Borys, department head, doctor of technical sciences, Dniprovsk state technical university.

Mukovs'ka Darya, postgraduate, Dniprovsk state technical university.

MAIN ASPECTS OF WASTE RECYCLING FOR METALLURGICAL FACILITIES ON THE EXAMPLE OF INDUSTRY OF SOUTHERN UKRAINE

To date, the activities of metallurgical enterprises are accompanied by a large amount of iron-containing waste, much of which is still not used, stored in dumps, storages, settling tanks. Therefore, in recent years there is a growing need for their comprehensive disposal. Such wastes include metallurgical slags. Slag is formed in the process of steel smelting. Slag accounts for a significant part of metallurgical waste. Slag dumps are man-made deposits of a mixture of metal and oxide components, each of which is a valuable raw material. Slag dumps and dumps occupy large areas and have a negative impact on the environment. The main way to reduce the damage from metallurgical slag to the environment is to recycle it. Processing and utilization of slag allows to solve one of the most important ecological tasks - cleaning of territories from large-tonnage wastes, which are slags of metallurgical production. The plants are interested in organizing the process of slag processing not only for environmental but also for economic reasons. According to research, the metal content in the slag reaches 15%. Given the shortage of iron ore for many metallurgical enterprises, namely, the south of Ukraine, the use of waste of own production in the technological cycle is largely the main and appropriate reserve to reduce production costs and increase economic performance of metallurgical production. This article analyzes the main aspects of recycling of metallurgical enterprises, considers the operation of the slag processing plant of the metallurgical enterprise of southern Ukraine. The production functions, structure, capacity of the shop are described. The volume, structure, main production indicators of the slag processing plant for 12 consecutive months are analyzed. The main types and volumes of processed technological waste are given. The expediency of their use in own production is shown.

Стаття надійшла: 15.10.2020 р.