М.Р. Руденко¹, канд. техн. наук, доц., e-mail: 18rudenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8016-5221>

М.А. Кашеєв¹, канд. техн. наук, доц., e-mail: pmz@pmz.dp.ua

Є.М. Нагорний², заст. директора, e-mail: eaecolog@gmail.com

Р.М. Руденко¹, студент, e-mail: 18rudenko@gmail.com

О.В. Сорока³, викладач хімії та біології, e-mail: sorokaola828@gmail.com

¹Дніпровський державний технічний університет (Кам'янське, Україна)

²ТОВ «НДП «ЕКОЕКСПЕРТ» (Кривий Ріг, Україна)

³Вище професійне гірничо-будівельне училище (Горішні плавні, Україна)

Дослідження ефективності зниження викидів від зон спікання агломашин

Ситуація з ресурсами призводить до необхідності використовувати у складі аглошихти значну кількість залізорудного концентрату, шлаків, пилу як мокрого, так і сухого вловлювання, шлаків конвертерного виробництва. Погіршуються умови як підготовки, так і спікання з необхідністю добавок флюсів і палива. Збільшення кількості тонкодисперсних матеріалів призводить до заковчування частинок твердого палива у середину гранул огрудкованої шихти. При цьому встановлюється різна масова частка вуглецю твердого палива, яка визначає зміну складу та кількості шкідливих газів.

Проведення інструментальних вимірів розподілення викидів по вакуум-камерах показало, що на перших вакуум-камерах гази перезволожені. Кількість монооксиду і двоокису вуглецю, а також оксидів азоту і сірки розподілена рівномірно по довжині агломашини. Підвищення температури газів, що відходять, відбувається на другій стадії і досягає максимального значення на останніх трьох вакуум-камерах.

Вимірами визначено обсяг викидів основних забруднюючих речовин від зон спікання агломашин типу АКМ-75. Запропоновано систему завантаження шихти з корегуванням кута нахилу завантажувального лотка. Визначено кут нахилу завантажувального лотка для сировинних умов підприємства, що забезпечує максимальну сегрегацію. Завантаження шихти при максимальній сегрегації дозволило збільшити перерозподіл насипної ваги і палива по висоті шихти.

Аналіз потужності викидів від агловиробництва в атмосферне повітря у 2017 році при впровадженні системи регулювання завантаження шихти на спікальний візок показав позитивну динаміку зменшення викидів в атмосферне повітря оксиду вуглецю. Підприємство зменшило викиди в атмосферне повітря оксиду вуглецю в порівнянні з 2016 роком на 3471,4 т.

Ключові слова: тверде паливо, залізорудний концентрат, агломераційна машина, сегрегація, насипна вага, завантажувальний лоток, оксид вуглецю.

Вступ. Виробнича діяльність гірничо-збагачувального комбінату пов'язана з видобуванням залізної руди відкритим способом і збагаченням бідних залізистих кварцитів із отриманням залізорудного концентрату та агломерату. До основних виробництв агловиробництва гірничо-збагачувального комбінату Криворіжжя належать: рудоуправління, управління

дробарно-транспортного комплексу, рудозбагачувальне виробництво, агломераційне виробництво.

Виробничо-технічна структура комбінату складається із 7 основних і 23 допоміжних цехів, поєднаних єдиним технологічним ланцюгом.

Завданням агломераційного процесу є підготовка високоякісної сировини для доменного виробництва

[1]. Ситуація з ресурсами призводить до необхідності використовувати в складі аглошхти значну кількість шлаків, пилу як мокрого, так і сухого вловлювання, шлаків конвертерного виробництва [2, 3]. Погіршуються умови як підготовки, так і спікання з необхідністю добавок флюсів і палива. Збільшення кількості тонкодисперсних матеріалів призводить до заочування частинок твердого палива у середину гранул огрудкованої шихти [4–11]. Погіршується доступ кисню до палива та збільшується кількість оксиду вуглецю в газах, що відходять. Зниження термічної активності палива призводить до збільшення перевитрати його в шихті. Коливання складу шихти в широкому діапазоні призводить до значних змін та параметрів аглопроцесу. При цьому встановлюється різна масова частка вуглецю твердого палива, яка визначає зміну складу та кількості шкідливих газів. В умовах агломераційної машини типу АКМ-75 запропоновано систему завантаження шихти з корегуванням кута нахилу завантажувального лотка. Це збільшує перерозподіл палива по висоті шихти.

Мета роботи. Підвищення якості спікання агломераційної шихти на основі закономірностей розподілу шихти в системі бункер-живильник-завантажувальний пристрій, методів підвищення сегрегації з розподіленням гранулометричного складу і вуглецю твердого палива, збереження газопроникності шару, зниження викидів оксиду вуглецю.

Постановка задачі. Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні завдання: виконати аналіз існуючої технологічної схеми; визначити обсяги викидів забруднюючих газів від зон спікання агломашин аглофабрики; визначити вплив сегрегації при удосконаленні системи завантаження шихти (яка включає проміжний бункер – барабанний живильник – завантажувальний лоток) на насипну вагу шихти по шарово і викид оксиду вуглецю від зон спікання.

Результати роботи. Технологічні процеси підготовки шихти в спікальному відділенні можна розділити на: змішування, зволоження та огрудкування шихти, завантаження шихти на агломашину, запалювання шихти, процес спікання, дроблення, грохочення та відвантаження готового агломерату.

В агломераційному цеху гірничо-збагачувального комбінату для виробництва агломерату використовуються 5 агломераційних машин базової моделі K-1-75 з поверхню спікання 84 м².

Запалювання шихти включає три послідовних і безперервних в часі операцій:

- попередній нагрів шару шихти (підготовка палива та шихти до запалення);
- власне запалення (формування активної зони горіння в шарі);
- додатковий нагрів з метою завершення процесів рідинно-фазового спікання у верхньому шарі пирога.

Здійснюють запалювання шихти за допомогою стаціонарного газового горна з торцевим розташуванням пальників, які працюють на природному газі, з тепловою здатністю 33,29–35,88 МДж/м³ (7950–8560 ккал/м³).

Витрата повітря в запальний горн варіюється залежно від теплотворної здатності газової суміші, при

цьому температура продуктів горіння газів над поверхнею шару в зоні запалення шихти повинна складати 900–1300 °С. В подальшому процес шарового горіння твердого палива в агломераційному шарі ускладнюється паралельним перебігом окисно-відновних процесів.

За результатами аналізу газів, що відходять від шару, який спікається, встановлено основні чинники, які впливають на температуру газів, що відходять. У кожному конкретному випадку вони можуть відрізнятися і визначаються:

- складом шихти;
- якістю огрудкування шихти;
- висотою шару шихти;
- величиною шкідливих просмоктувань повітря.

До 10-ої вакуум-камери температура газу зазвичай не перевищує 100 °С, в подальшому досягає максимуму 200–400 °С. Збільшення на кожні 10 °С температури газів, що відходять, перед ексгаустером супроводжується падінням продуктивності агломераційної машини на 1,5–2,0 % за рахунок зниження розрідження в колекторі газового тракту. Зниження температури у 14-й вакуум-камері в порівнянні з 13-ою вказує на необхідність збільшити швидкість руху спікальних візків. Більш висока температура газу у 15-й вакуум-камері у порівнянні з 14-ою вказує на зниження вертикальної швидкості процесу і, як наслідок, на незавершеність процесу спікання.

Фактори підвищення температури газів, що відходять від зони спікання, в колекторі:

- уповільнення швидкості руху або короточасні зупинки агломераційної машини;
- поліпшення газопроникності шихти.

Фактори зниження температури газів, що відходять, в колекторі мають місце при:

- зменшенні витрати палива в шихті порівняно з оптимальним;
- недозволенні або при перезволоженні шихти;
- переоплавленні поверхні шару через високу температуру запалення;
- наявності великої кількості просмоктувань;
- завищенні швидкості руху спікальних візків.

Температура газів, що відходять, в колекторі повинна бути не нижче 100 °С.

Розрідження в газовідвідному тракті пов'язане з температурою в колекторі та залежить від складу шихти і ступеня її підготовки, висоти шару, що спікається, величини підсмоктувань повітря та стану колосникових ґрат. Розрідження у колекторі газів, що відходять, повинно бути не нижче 4,0 кПа. Величина підсмоктувань повітря в газовідвідний тракт (45–70 % по відношенню до витрати газу через нагнітач) характеризує герметичність елементів в мережі.

Для конкретних умов газодинамічний опір шару шихти, що спікається, можна визначити за розрідженням у вакуум-камерах і колекторі агломераційної машини. Знижене розрідження вказує на підвищення газопроникності або закінчення процесу спікання раніше передостанньої вакуум-камери і, відповідно, на втрати продуктивності агломераційної машини.

Для отримання максимальної продуктивності агломераційної машини необхідно повністю використовувати

Рис. 1. Діаграма виділення оксиду вуглецю із зон спікання агрегатів (К-1-75)

продуктивність ексаустера, для чого слід: працювати при максимально відкритій засувці ексаустера; мати оптимально підготовлену шихту з мінімальними коливаннями фізико-хімічних властивостей; організувати розподілення шихти (відповідно по фракціях твердого палива) по висоті шару; ретельно стежити за повним комплектом і станом колосникових ґрат; стежити за справністю (ущільненням) газовідвідної системи з метою зниження просмоктувань повітря.

Температура газів, що відходять, в останніх вакуум-камерах, колекторі і перед ексаустером реєструється за допомогою: термопари (ХК), реєстратора (МТМ-Р-160), багатограничного вимірювального перетворювача (МТМ 402) та самописного потенціометра (КСП-3, клас точності 0,5).

Основним джерелом утворення викидів з агломерационного виробництва є зона спікання агрегатів (джерело викиду – димова труба висотою 80,0 м, діаметром 6,5 м). Забруднюючі речовини, що викидаються у атмосферне повітря, – речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом, діоксид азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю та інші сполуки, парникові гази (діоксид вуглецю, метан, закис азоту).

З метою поліпшення стану атмосферного повітря та для забезпечення чинного природоохоронного законодавства України з урахуванням перспективних технологічних нормативів по пилу для агломерационного виробництва на підприємстві розроблено проєкт, яким передбачається реконструкція газоочисних пристроїв агрегатів з установкою системи доочищення відхідних агрегатів.

Згідно з проєктом з реконструкції системи очищення агрегатів газів від зон спікання агрегатів для доочищення агрегатів передбачено установку високоефективних рукавних фільтрів. Це значно знизить викиди твердих суспендованих частинок в атмосферу і втрату заліза в процесі переробки. Реконструкція запланована в 2 етапи.

На даний момент підприємством вже виконано 1-й етап реконструкції газоходів, що входять в систему очищення агрегатів газів від зон спікання агрегатів агрегатів № 1, а саме – виконано переформатування вузлів аспірації зон розвантаження агрегатів і бункерів, живильників звороту в колек-

Рис. 2. Розподіл насипної ваги шихти по висоті шару при максимальній сегрегації

тор агрегатів машин. Гідрофільтри D3600 та D3000, в яких здійснювалась очистка переформатованих вузлів аспірації, не експлуатуються і в подальшому будуть демонтовані.

Викиди із зон спікання та розвантаження агрегатів № 1–№ 5, бункерів і живильників звороту аспіраційного газу надходять на установки очищення АТУ-12-АТУ-16.

Шлами, що утворилися після очистки в батарейних циклонах, за допомогою гідротранспорту надходять в шламонакопичувач, а потім після осадження мінеральних часток вивозяться автотранспортом на склад агрегату в штабель аглоруди.

Згідно з дослідженнями (рис. 1) виділення оксиду вуглецю із зон спікання агрегатів різне. Максимальні виділення оксиду вуглецю відбуваються із зони спікання агрегату № 4.

Для агрегатів машин АКМ-75 запропоновано систему завантаження шихти з корегуванням кута нахилу завантажувального лотка. Визначено кут нахилу завантажувального лотка для сировинних умов підприємства, що забезпечує максимальну сегрегацію. Завантаження шихти при максимальній сегрегації дозволило збільшити перерозподіл палива по висоті шихти. Формування прошарків шихти з різною крупністю (насипною вагою) дозволило збільшити крупність огруdkованої шихти нижніх прошарків і зменшити крупність верхніх прошарків. Оскільки тверде паливо – коксовий дріб'язок – практично не приймає участі в огруdkуванні, то воно концентрується в переважній більшості у верхніх прошарках.

Це дозволило збільшити температурне навантаження на верхні шари і зменшити недолік тепла в цих зонах. Збільшення повноти спалювання вуглецю призвело до зниження кількості викидів оксиду вуглецю в навколишнє середовище. Розподіл насипної ваги по висоті шару шихти при максимальній сегрегації наведено на рис. 2. Збільшення насипної ваги у верхніх прошарках свідчить про концентрацію переважно дрібної фракції огруdkованої шихти, а в нижніх прошарках зниження насипної ваги – про концентрацію крупної фракції шихти.

Інструментальними вимірами розподілення викидів по вакуум-камерах встановлено, що на перших вакуум-камерах гази перезволожені. Кількість моно-

Рис. 3. Аналіз потужності викидів в атмосферне повітря оксиду вуглецю за роками

Рис. 4. Аналіз потужності викидів в атмосферне повітря діоксиду вуглецю за роками

Питомі викиди забруднюючих речовин

Агловиробництво	Тверді, з них:	1,9861
	– тверді від зони спікання агломашин	1,2331
	– тверді від аспіраційних викидів	0,0862
	– тверді від неорганізованих джерел	0,6655
	– підготовка шихти	0,0013
	Оксид вуглецю	15,3201
	Діоксид сірки	0,732
	Діоксид азоту	0,4643
	Парникові гази	
	Закис азоту (N ₂ O)	2,8357
	Метан (CH ₄)	2,1726
	Крім того, діоксид вуглецю (CO ₂) – не входить до обсягу валових викидів	350,687
	Всього	23,5108642

оксиду і двоокису вуглецю, а також оксидів азоту і сірки розподілена рівномірно по довжині агломашини. Підвищення температури газів, що відходять, відбувається на другій стадії і досягає максимального значення на останніх трьох вакуум-камерах.

Аналіз потужності викидів в атмосферне повітря у 2017 році при впровадженні регулювання системи завантаження шихти на спікальний візок показав позитивну динаміку зменшення викидів в атмосферне повітря оксиду вуглецю. Підприємство зменшило викиди в атмосферне повітря в порівнянні з 2016 роком на 3471,4 тону (рис. 3).

Згідно зі статистичною інформацією потужність викидів оксиду вуглецю становить у цьому році

13,87 % від загального обсягу викидів по місту. Такий стан є і по діоксиду вуглецю (рис. 4). Зниження викидів в порівнянні з 2016 роком відбулось на 79462,167 тону.

Згідно з даними Криворізького ресурсного центру за другий квартал 2018 року відсоток у загальному обсязі забруднення по місту гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК) з агловиробництвом склав 18,25 %.

У зв'язку з використанням пилоподібних матеріалів деяка їх частина безповоротно втрачається в процесі транспортування, перевантажень, змішування, грануляції, спікання на агломераційних машинах методом просочування повітря крізь шар укладеної на аглострічку маси шихти, а також при відвантаженні агломерату. Нормативні втрати сировинних матеріалів

лів для аглоцеху ГЗК складають 2,75 %, що нижче, ніж на аналогічних фабриках галузі.

Розрахунок обсягів викидів здійснювався на підставі визначених питомих норм викидів забруднюючих речовин [12, 13, 14]. Результати наведено в таблиці.

Висновки

Проведено вимірювання параметрів газопилового потоку від зон спікання на джерелах викидів забруд-

нюючих речовин при різних параметрах роботи агломаційного цеху.

Визначено і встановлено кут нахилу завантажувального лотка, що забезпечує завантаження шихти з максимальною сегрегацією для сировинних умов підприємства. Встановлено розподіл насипної ваги по висоті шару шихти при максимальній сегрегації та визначено потужність викидів в атмосферне повітря по оксиду і діоксиду вуглецю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ковальов Д.А., Ванюкова Н.Д., Іващенко В.П. та ін. Теоретичні основи виробництва окускованої сировини: навч. посіб. (МОН). НМетАУ. Дніпропетровськ: ІМА-прес, 2011. 476 с.
2. Андоньев С.М., Филиппев С.В. Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии. М.: Металлургия, 1973. 200 с.
3. Юсфин Ю.С., Леонтьев Л.И., Черноусов П.И. Промышленность и окружающая среда. М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. 469 с.
4. Мищенко И.М. Черная металлургия и охрана окружающей среды. Донецк: ГБУЗ ДонНТУ, 2012. 446 с.
5. Integrated Pollution Prevention and Control. Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Iron and Steel Production. Part 3. Sinter plants. European commission Directorate-general JRC. Joint research Centre. Institute for Prospective Technological Studies Sustainable Production and Consumption Unit European IPPC Bureau. April 2010.
6. Фролов Ю.А. Агломерация. Технология. Теплотехника. Управление. Экология. М.: Металлургиздат, 2016. 672 с.
7. Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Report on a WHO Working Group. Bonn, Germany 13–15 January 2003. P. 94.
8. Air quality guidelines. Global update 2005. URL: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/air-quality-guidelines.-global-update-2005.-particulate-matter,-ozone,-nitrogen-dioxide-and-sulfur-dioxide>
9. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32008L0050>
10. Крижевский А.З. Совершенствование технологии агломерационного производства. Киев: Техника, 1989. 77 с.
11. Колесанов Ф.Ф. и др. Совершенствование агломерационного процесса. Киев: Техника, 1983. 110 с.
12. Андоньев С.М., Филиппев О.В. Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии. М.: Металлургия, 1979. 192 с.
13. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. ОАО «УкрНТЭК». Донецк, 2002. 131 с.
14. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» від 18 серпня 2017 р. № 605-р. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>

Надійшла 26.05.2021

REFERENCES

1. Koval'ov, D.A., Vaniukova, N.D., Ivashchenko, V.P. et al. (2011). Theoretical foundations of the production of flaked raw materials: Textbook (MES). NMetAU. Dnepropetrovsk: IMA-pres, 476 p. [in Ukrainian].
2. Andonyev, S.M., Filipiev, S.V. (1973). Dust and gas emissions of ferrous metallurgy enterprises. Moscow: Metallurgiya, 200 p. [in Russian].
3. Yusfin, Yu.S., Leontiev, L.I., Chernousov, P.I. (2002). Industry and the environment. Moscow: ICC "Akademkniga", 469 p. [in Russian].

4. Mishchenko, I.M. (2012). Ferrous metallurgy and environmental protection. Donetsk: GVUZ DonNTU, 446 p. [in Russian].
5. Integrated Pollution Prevention and Control. Draft Reference Document on Best Available Techniques for the Iron and Steel Production. Part 3. Sinter plants. European commission Directorate-general JRC. Joint research Centre. Institute for Prospective Technological Studies Sustainable Production and Consumption Unit European IPPC Bureau. April 2010.
6. Frolov, Yu.A. (2016). Agglomeration. Technology. Heat engineering. Control. Ecology. Moscow: Metallurgizdat, 672 p. [in Russian].
7. Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Report on a WHO Working Group. Bonn, Germany 13–15 January 2003, p. 94.
8. Air quality guidelines. Global update 2005. URL: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/air-quality-guidelines.-global-update-2005.-particulate-matter,-ozone,-nitrogen-dioxide-and-sulfur-dioxide>
9. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32008L0050>
10. Krizhevsky, A.Z. (1989). Improving the technology of sinter production. Kyiv: Tekhnika, 77 p. [in Russian].
11. Kolesanov, F.F. et al. (1983). Improvement of the agglomeration process. Kyiv: Tekhnika, 110 p. [in Russian].
12. Andonyev, S.M., Filipiev, O.V. (1979). Dust and gas emissions from ferrous metallurgy enterprises. Moscow: Metallurgiya, 192 p. [in Russian].
13. Maximum permissible concentration (MPC) and tentatively safe levels of exposure (OSUV) of pollutants in the air of populated areas. OJSC "UkrNTEK". Donetsk, 2002, 131 p. [in Russian].
14. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine "On approval of the Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035 "Security, energy efficiency, competitiveness" dated August 18, 2017 № 605-r. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80> [in Ukrainian].

Received 26.05.2021

Summary

M.R. Rudenko¹, PhD (Engin.), Associate Professor,
e-mail: 18rudenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8016-5221>
M.A. Kashcheev¹, PhD (Engin.), Associate Professor, e-mail: pmz@pmz.dp.ua
Ye.M. Nagorny², Deputy Director, e-mail: eaecolog@gmail.com
R.M. Rudenko¹, student, e-mail: 18rudenko@gmail.com
O.V. Soroka³, teacher of chemistry and biology,
e-mail: sorokaola828@gmail.com

¹Dniprovsky State Technical University (Kamianske, Ukraine)

²LLC NDP "ECOEXPERT" (Kryvyi Rih, Ukraine)

³Higher Vocational School of Mining and Construction (Horishni Plavni, Ukraine)

Research of efficiency of reduction of emissions from sintering zones of sintering machines

The situation with resources leads to the need to use in the sintering machine a significant amount of iron ore concentrate, sludge, dust, both wet and dry capture and converter slag. The conditions for both preparation and sintering are deteriorating, with the need for flux additives and fuel. The increase in the amount of fine materials leads to the rolling of solid fuel particles in the middle of the granules of the coated charge. This sets a different mass fraction of carbon solid fuel which determines the change in the composition and amount of harmful gases.

Carrying out instrumental measurements of the distribution of emissions in vacuum chambers showed that the gases were wetted in the first vacuum chambers. The amount of carbon monoxide and carbon dioxide, as well as oxides of nitrogen and sulfur is evenly distributed along the length of the sintering machine. The temperature rise of the exhaust gases occurs in the second stage and reaches a maximum value on the last three vacuum chambers.

The measurements determine the amount of emissions of major pollutants from the sintering zones of sintering machines of the AKM-75 type. The system of loading of charge with adjustment of an angle of inclination of a loading tray is offered. The angle of inclination of the loading tray for raw material conditions of the enterprise which provides the maximum segregation

is defined. Loading of the charge at maximum segregation allowed to increase the redistribution of bulk density and fuel along the height of the charge.

An analysis of the emission power from sinter production into the atmospheric air in 2017 with the introduction of a control system for loading the charge onto a sintering carriage showed a positive trend in reducing emissions of carbon monoxide into the atmosphere. The company reduced carbon monoxide emissions by 3471.4 tons compared to 2016.

Keywords

Solid fuel, iron ore concentrate, sintering machine, segregation, bulk density, loading tray, carbon monoxide.