

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет гірничо-металургійний
Кафедра безпеки праці та охорони довкілля

АВТОРЕФЕРАТ
кваліфікаційної роботи

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Інноваційні технології та системи
захисту навколишнього середовища»
за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища

**на тему «Використання газів металургійного виробництва для
зменшення витрат природних енергоресурсів»**

Здобувач

Семен КОГАН

Кам'янське, 2024

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.

Робота виконана у Технічному університеті «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» на кафедрі безпеки праці та охорони довкілля.

Керівник: Пікареня Дмитро Сергійович, доктор геологічних наук, професор, професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля

Захист відбудеться 24 січня 2024 р. о 09:00 год на засіданні екзаменаційної комісії (https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_MWEwMTc5NTgtOWU1Yy00ZTM4LWFjNWEtMmU4OGI4ZjYwYTgz%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%2201efadc2-6354-43fb-8f92-8e8c2485636b%22%7d).

Електронна версія автореферату розміщена в Інституційному репозитарії ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» 19 січня 2024 р.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Актуальність теми досліджень. В умовах євроінтеграції України, зокрема з урахуванням впровадження механізм регулювання викидів вуглецю на кордоні з Європейським союзом (Carbon Border Adjustment Mechanism), металургійні компанії повинні реалізовувати програми з енергоефективності та енергозбереження. Впровадження ефективних енергозберігаючих технологій, наприклад з використання газів металургійного виробництва як вторинних енергетичних ресурсів, надасть змогу підприємствам відповідати сучасним європейським екологічним стандартам у сфері охорони довкілля, а також бути конкурентоздатними на національному та міжнародному ринках. Це відповідає зобов'язанням України в рамках Угоди про асоціацію з ЄС щодо імплементації Директиви 2010/75/ЄС Європейського парламенту та Ради від 24 листопада 2010 року "Про промислові викиди (інтегроване запобігання та контроль забруднення)" та Директиви Європейського парламенту і ради 2012/27/ЄС від 25 жовтня 2012 року про енергоефективність, внесення змін до директив 2009/125/ЄС і 2010/30/ЄС та про скасування директив 2004/8/ЄС і 2006/32/ЄС. Вище зазначене свідчить про актуальність науково-практичного завдання щодо аналізу існуючих та пошуку нових шляхів зменшення витрат природних енергоресурсів у чорній металургії.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є проаналізувати шляхи підвищення енергоефективності металургійного виробництва за рахунок використання газу.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

1. Розглянути сучасні тенденції підвищення енергоефективності в чорній металургії.
2. Проаналізувати стан та передумови екологізації агломераційного виробництва з урахуванням процесів утворення токсичних речовин під час спіканні шихти.

3. Виявити основні джерела емісій та проаналізувати масові потоки, дані споживання доменного виробництва.

4. Проаналізувати сучасний стан конвертерного виробництва та оцінити калорійність монооксиду вуглецю як основну складову конвертерного газу.

5. В грошовому виразі розглянути розмір оподаткування питомих викидів монооксиду вуглецю від кисневих конвертерів після проходження системи очищення.

Об'єкт досліджень – підвищення енергоефективності металургійного виробництва.

Предмет дослідження – ефективність використання газів металургійного виробництва як вторинних матеріальних ресурсів.

Методи дослідження. Для реалізації визначених завдань застосовані загальнонаукові методи дослідження: порівняння, аналізу, спостереження, розрахунку, моделювання. Для визначення калорійності конвертерного газу, застосовується алгоритм, сформований на основі залежності калорійності газу, що відходить, від вмісту монооксиду вуглецю.

Структура кваліфікаційної роботи. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, одного додатку. Загальний обсяг роботи становить 171 сторінка, робота містить 38 рисунків, 34 таблиці. Список використаних джерел складається з 34 джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми кваліфікаційної роботи, сформульована мета і задачі, визначені об'єкт і предмет дослідження. Надана інформація щодо публікацій, апробації кваліфікаційної роботи.

У першому розділі «Огляд шляхів підвищення енергоефективності металургійного виробництва за рахунок зменшення витрат природних енергоресурсів» розглянуті передумови впровадження енергоефективних

технологій виробництва та виконано огляд ресурсозберігаючих технологій у металургії.

Протягом останніх років у металургії впроваджувались системні заходи з підвищення енергоефективності та зменшення споживання природного газу. Зокрема, впроваджувалися установки вдування пиловугільного палива на доменних печах, що надає змогу повністю відмовитися від природного газу. Використання природного газу в металургії суттєво мінімізовано. Актуалізується перехід до принципово нових технологій виробництва металопродукції, який слід розглядати в контексті ресурсо- та енергозберігаючих технологій, підґрунтям чого є також модернізація існуючого виробництва. У сучасних умовах це може бути досягнуто тільки на основі комплексності використання первинної та вторинної сировини.

У другому розділі *«Використання газів металургійного виробництва для зменшення витрат природних енергоресурсів»* розглянуто розподіл температур і реакційних зон у процесі спікання через шість хвилин після розпалу, виконано огляд основних потоків і даних споживання та виробництва, процесів горіння палива у шарі агломераційної шихти, теплообмінні процеси під час агломерації, розподіл тепла регенерації по висоті шару, що спікається та інше.

Вагомою складовою пилогазових викидів від металургійних заводів із повним циклом є викиди від агломераційної установки, які містять сполуки заліза, свинцю, вуглеводні, монооксид вуглецю та інше. Після проходження системи пилогазоочищення, пил видаляється і повертається на виробництво як сировинна суміш. Переважною частиною викидів агломерації є гази, що відходять, які в основному є продуктами горіння твердого палива. Основне паливо агломерації – коксові відходи та дрібний антрацит, подрібнені до фракції 0-3 мм. Тепловий ефект реакції неповного горіння вуглецю твердого палива в 3,4 рази менший, ніж аналогічний ефект повного горіння. Тобто зі збільшенням повноти горіння досягаються економія палива та зниження загального викиду газів, що відходять, і різних токсичних сполук, серед яких найбільшу масову частку має монооксид вуглецю. Позитивні особливості теплообміну при агломерації до-

сягаються за рахунок мінімальних втрат тепла під час горіння палива шихти, що зокрема обумовлено значною питомою поверхнею шихти. Частка тепла від горіння вуглецю твердого палива сягає до 90 % від загального надходження тепла. Середній вміст монооксиду вуглецю та інших сполук у викидах, що відходять, визначається, за звичай, за спрощеними розрахунковими алгоритмами. Специфічні особливості технологічних процесів вітчизняних аглофабрик, зокрема низький відсоток використання таких вторинних енергетичних ресурсів, як тепло газів, що відходять, і гарячого агломерату, а також обмежена регенерація тепла в заниженому шарі шихти, обумовлюють суттєве підвищення енергоемності продукції у порівнянні з кращими світовими практиками.

У третьому розділі «Емісії доменного виробництва та їх знешкодження» розглянуті емісії доменного виробництва, джерела викидів та шляхи їх мінімізації.

Основна частка впливу на атмосферне повітря від переділів металургійного виробництва припадає на доменне виробництво, що підтверджується уточнюючою інформацією щодо показників викидів у повітря (після газоочищення) для зони завантаження, ливарного двору й основних окремих операцій, пов'язаних із роботою доменної печі.

Частка викидів пилу у доменному виробництві досить високі. До основних груп джерел викидів можна віднести: тракти руху шихтових матеріалів і переробки рідких продуктів плавки, а також викиди, пов'язані з очищенням доменного газу та його використанням для нагрівання дуття повітрянагрівачами, подачею шихтових матеріалів в піч за допомогою засипного пристрою, а також із короткочасними зупинками доменної печі.

При палінні повітрянагрівачів в продуктах згоряння утворюються шкідливі речовини: оксиди азоту, оксиди сірки, бензапірен, оксиди вуглецю.

Концентрація оксидів сірки залежить, в першу чергу, від наявності у доменному газі сірководню. Концентрація СО при цьому незначна і залежить від якості спалювання палива.

Концентрація азотовмісних сполук визначається питомою витратою коксу, ходом доменної плавки, складом шихти, видом чавуну, що виплавляється. Незважаючи на те, що концентрація оксидів азоту у відхідному димі відносно невелика, їх валові викиди значні. У зв'язку з цим використовують такі заходи для зниження шкідливих викидів: рециркуляцію продуктів згоряння та двостадійне спалювання палива.

Для зниження викидів оксидів азоту, а також для покращення умов служби вогнетривів у нижній зоні кладки камери горіння, де температури та навантаження значні, передбачається застосування двостадійного спалювання палива зменшення температури продуктів згоряння в цій зоні за рахунок.

Утворення значної кількості пилу в доменному цеху пов'язано зі значною кількістю операцій з вивантаження та перевантаження шихтових матеріалів, що супроводжується пиловими викидами, а також випуску рідких продуктів доменної плавки та інших процесів. Другим значущим джерелом забруднення є викиди на ливарному дворі під час випуску чавуну та шлаку.

Зазвичай аспіраційні потоки від скіпової ями та ливарних дворів об'єднують та очищають в електрофільтрах та тканинних фільтрах.

Зіставлення досвіду експлуатації газоочисного комплексу з використанням електрофільтрів та тканинних фільтрів показує, що експлуатаційні витрати на тканинні фільтри вищі ніж на електрофільтри.

У четвертому розділі «Вторинні енергоресурси киснево-конвертерного виробництва сталі» проаналізована характеристика вторинних енергоресурсів киснево-конвертерного виробництва, зокрема можливості використання теплоти сталі і шлаку, а також розглянуті технології використання конвертерного газу і оцінена калорійність його складової – монооксиду вуглецю CO.

Киснево-конвертерне виробництво сталі займає провідне місце у світовому виробництві сталі. Цей процес відноситься до безпаливних, забезпечення теплотою якого відбувається за рахунок екзотермічних реакцій окиснення домішок чавуну. Теплові витрати, які витрачаються на фізичне тепло

сталі, шлаку і конвертерного газу, сягають понад двох третин витратних статей теплового балансу киснево-конвертерної плавки, а інші витратні статті припадають, переважно, на хімічну енергію газів. Останню доцільно розглядати в розрізі використання для відновлення окатишів. В залежності від методу розливання сталі, чи то це виливання у виливниці, чи виробництво заготовок на машинах безперервного лиття заготовок, залежить ефективність використання фізичної теплоти конвертерної сталі.

Теплоту сталі при розливанні сталі у виливниці використовують шляхом гарячого посаду злитків у нагрівальні колодязі. При гарячому посаді в нагрівальному колодязі за рахунок зменшення тривалості нагріву менше утворюється окалини.

Теплоту сталі при її розливу на машинах безперервного лиття заготовок можна використовувати шляхом утворення нагрітої води або пари.

Установки для використання теплоти шлаку включають наступні технологічні операції: нагрівання повітря при грануляції шлаку, а потім використання нагрітого повітря для вироблення пари в котлах-утилізаторах.

Використання конвертерного газу на пряму залежить від способу відведення його з конвертеру: з повним допалюванням монооксиду вуглецю конвертерного газу, з частковим допалюванням і без допалювання.

Для використання конвертерного газу як паливо необхідно вирішити проблему несталого виходу конвертерного газу. Це може бути досягнуто за рахунок подачі газу в період його виходу з конвертера до мережі іншого газу або подачі до газгольдера.

За рахунок водоохолодження кесону надається можливість використання теплоти охолоджуваної води для утворення електроенергії в паросилових установках на рідинах, з низькими температурами кипіння.

До основних характеристик вторинних енергоресурсів слід віднести їх кількість утворення, енергетичний потенціал тощо. Підприємства в енергетичних балансах враховують можливе використання вторинних енергоресурсів, а не їх вихід під час утворення продукції.

Дослідження калорійності та ефективності використання конвертерного газу як альтернативного виду енергоносія, виконано в розрізі монооксиду вуглецю CO, як найбільшої складової у газі. Наприклад, з урахуванням питомого показника теплоти згорання, калорійність газу, що відходить, від вмісту CO (72,5 об. %) склала 9,24 МДж/нм³.

Максимальне використання вторинних енергоресурсів та впровадження енергозберігаючих заходів вирішує одночасно декілька екологічних проблем на підприємствах за рахунок: зменшення кількості викидів в атмосферне повітря, зниження теплового забруднення, зменшення споживання горючих корисних копалин.

У п'ятому розділі *«Огляд економічного обґрунтування доцільності підвищення енергоефективності виробництва на металургійних підприємствах»* проаналізована доцільність використання вторинних енергоресурсів, на прикладі вмісту монооксиду вуглецю у питомих викидах конвертерного газу.

Стала політика енергоефективності підприємств чорної металургії ґрунтується на впровадженні у виробництво сучасних, менш енергоємних технологій та енергоекономічного технологічного обладнання, а також на передбаченні моніторингу енергетичних витрат і заходів по зниженню впливів на довкілля, зокрема: вдосконалення системи енергетичного менеджменту підприємства; збільшення частки власного виробітку електроенергії; оптимізація енергобалансу підприємства та його підрозділів; моделювання споживання енергоресурсів на основі спеціалізованого програмного забезпечення.

Обґрунтування вибору енергоносіїв для кожного технологічного процесу включає аналіз різних факторів, одним з яких є технологічні вимоги, еколого-економічний ефект від використання вторинних енергетичних ресурсів тощо. Доцільність використання конвертерного газу у виробництві показана шляхом нарахування екологічного податку за викиди в атмосферне повітря монооксиду вуглецю CO після очищення.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі поставлена і вирішена актуальна науково-практична задача, що полягає в обґрунтуванні ефективності використання газів металургійного виробництва для зменшення витрат природних енергоресурсів.

На основі результатів проведеної роботи зроблені наступні висновки.

1. За результатами аналітичного огляду інформаційних джерел виявлено, що за останні 5-6 років металургійні заводи України та світу здійснювали системні заходи з підвищення енергоефективності та зменшення споживання природного газу. У сучасних умовах перехід підприємств чорної металургії до ресурсо- та енергозберігаючих технологій може бути досягнуто на основі комплексності використання первинної та вторинної сировини, зокрема використанні газів як вторинних енергетичних ресурсів.

2. Виявлено, що на металургійних підприємствах найбільша кількість шкідливих викидів утворюється на двох перших переділах – аглодоменному та конверторному. На підставі розгляду сучасного стану та передумов екологізації агломераційного виробництва, проаналізовані процеси утворення токсичних речовин, зокрема монооксиду вуглецю, сірчистого ангідриду, оксидів азоту, складних токсичних вуглеводнів, при спіканні шихти, а також аналітично-розрахункові методи їх оцінки.

3. На підставі огляду масових потоків і даних споживання доменного виробництва виявлено, що його слід віднести до основних джерел забруднення, оскільки на його частку припадає близько 25% від усіх забруднень від переділів металургійного виробництва.

4. Сучасні конвертери оснащені системами відводу і очищення газу, повного та часткового допалювання монооксиду вуглецю до діоксиду вуглецю, або системами в яких конвертерний газ відводиться без допалювання монооксиду вуглецю, частка якого в суміші газів найбільша. З урахуванням середнього вмісту монооксиду вуглецю CO у газгольдері після конвертеру сягає

72,5 об.%, його складова у конвертерному газі обумовлює калорійність в розмірі 2 207,63 ккал/нм³ або 9,24 МДж/нм³.

5. Аналітично обґрунтована доцільності використання вторинних енергоресурсів, на прикладі вмісту монооксиду вуглецю у питомих викидах конверторного газу.

ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Черніков Д.О., Коган С.О. Ресурсоефективність як складова еколого-економічної безпеки гірничо-металургійного комплексу / *XI Міжнародній науково-практичній конференції "MODERN PROBLEMS OF SCIENCE, EDUCATION AND SOCIETY"*, 8-10.01.2024, Київ. С. 547-552.

АНОТАЦІЯ

Коган С.О. Використання газів металургійного виробництва для зменшення витрат природних енергоресурсів.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища.

Робота присвячена обґрунтуванню та удосконаленню енергоефективності підприємств чорної металургії за рахунок використання газів металургійного виробництва як вторинних енергетичних ресурсів.

В останні роки підприємства чорної металургії України впроваджували сталу політику підвищення енергоефективності виробництва, що, наприклад, прослідковується у зменшенні споживання природного газу. Все більш актуалізуються питання комплексного використання первинної та вторинної сировини, в тому числі використання газів як вторинних енергетичних ресурсів. Аналіз кількісного та якісного складу пилогазових потоків, утворених у різних виробничих процесах, показав, що аглодоменний і конвертерний переділи

можуть суттєво впливати на місцевий повітряний басейн. У складі конвертерного газу як вагому складову за кількістю та калорійністю слід розглядати монооксид вуглецю, при цьому аналітичні дослідження виконано за умови вмісту монооксиду вуглецю в конвертерному газі у газгольдері в межах від 55 об. % до 80 об. %.

Ключові слова: вторинні енергетичні ресурси, агломераційний газ, доменний газ, конвертерний газ, калорійність конвертерного газу.

ABSTRACT

Kohan S. Using gases from metallurgical production to reduce the consumption of natural energy resources.

Qualification work for a master's degree in specialty 183 Environmental Protection Technology.

The work is devoted to substantiating and improving the energy efficiency of ferrous metallurgy enterprises through the use of gases from metallurgical production as secondary energy resources.

In recent years, Ukrainian ferrous metallurgy enterprises have been implementing a constant policy of increasing the energy efficiency of production, which, for example, can be seen in reducing natural gas consumption. The issues of integrated use of primary and secondary raw materials, including the use of gases as secondary energy resources, are becoming increasingly relevant. Analysis of the quantitative and qualitative composition of dust and gas flows generated in various production processes has shown that the sintering and converter stages can significantly affect the local air basin. In the composition of the converter gas, carbon monoxide should be considered as a weight component in terms of quantity and caloric content, while analytical studies were carried out under the condition that the content of carbon monoxide in the converter gas in the gas holder ranges from 55 vol. % up to 80 vol. %.

Keywords: secondary energy resources, sinter gas, blast furnace gas, converter gas, converter gas calorific value.