

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 «Перспективні напрямки розвитку металургійної промисловості
в області зменшення викидів парникових газів»**

Здобувач

Ігор НАВОЛЬНЄВ

Кам'янське, 2024

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.

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

Керівник: Максимова Наталія Миколаївна,
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри безпеки праці та
охорони довкілля

Захист відбудеться 25 січня 2024 р. о 09:00 год на засіданні
екзаменаційної комісії (https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_MzAyNzcxODctNWlxZi00ZTdiLTgwM2ltZmYzYWZkYzg0OD_Qy%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 репозиторії ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» 19 січня 2024 р.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Актуальність теми досліджень. Металургійна промисловість – є одним з «стовпів» розвитку сучасної економічної системи, при цьому залишаючись одним з лідерів-забруднювачів навколишнього середовища. Виходячи з цього, подальший розвиток людства не можливий без трансформації технологічних процесів виробництва металів у більш екологічно безпечнішому напрямку. При цьому використання новітніх технологій повинне не тільки забезпечувати виконання екологічних рекомендацій з мінімізації впливів на довкілля, зокрема щодо викидів парникових газів у атмосферне повітря, а й вийти у зону прибутковості порівняно із «старими» методами виробництва сталі. Тому впровадження у виробництво кращих доступних технологічних рішень завжди є **актуальною** науково-практичною задачею.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є пошук альтернативних напрямків розвитку металургійної промисловості в області зменшення викидів парникових газів.

Завдання, які плануються вирішити:

1. Розглянути засад декарбонізації чорної металургії.
2. Проаналізувати сучасні технології виробництва сталі, в тому числі, за такими технологіями як водневе відновлення заліза, MIDREX, ItMK3.
3. Розглянути потенціал сучасного електросталеплавильного комплексу в розрізі енергоємності його виробничих процесів.
4. На підставі співставлення розмірів сплати екологічного податку за викиди двоокису вуглецю, виявити технологію виготовлення металопродукції з найменшим вуглецевим слідом.

Об'єкт досліджень – тенденції змінення алгоритмів та процесів виробництва чорних металів з ухилом на більш раціональне використання ресурсної бази.

Предмет дослідження – перспективи використання новітніх технологій у порівнянні з класичними методами.

Методи дослідження. Для реалізації визначених завдань застосовані загальнонаукові методи дослідження: методи аналогій, аналізу, розрахунку, прогнозування.

Структура кваліфікаційної роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, одного додатку. Загальний обсяг роботи становить 80 сторінок, робота містить 15 рисунків, 15 таблиць. Список використаних джерел складається з 39 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. Стисло розглянуто засади доцільності впровадження у виробництво металопродукції кращих доступних технологічних рішень.

У першому розділі «Огляд засад декарбонізації виробничої діяльності» наведено огляд засад декарбонізації, зокрема механізм регулювання кордонів викидів вуглецю як інструмент контролю металургії як однієї з галузей економіки, виробнича діяльність якої утворює екологічний тиск на атмосферне повітря в місцях її дислокації.

Утворення парникового ефекту обумовлює сталу тенденцію підвищення температури повітря на Землі. Серед парникових газів, які увійшли до додатку А Кіотського протоколу, зазвичай, більшої уваги приділяють двоокису вуглецю CO₂. Найбільшим внеском у викиди парникових газів характеризується енергетичний сектор, внаслідок переважаючої орієнтації енергетичних систем на спалювання викопного палива. Вплив промислових викидів, зокрема металургії, є також вагомим завдяки темпам приросту забруднювання. Зростання економіки тільки збільшують потребу людства у виробництві сталі, а тому як сучасний інструмент регуляторної політики в області захисту

довкілля введено в дію механізм регулювання кордонів викидів вуглецю в межах впливу Європейського Союзу.

Даний вуглецевий тариф на вуглецевоємні продукти, такі як чавун, сталь, електроенергія, водень, алюміній, цемент, добрива, що імпортуються до Європейського Союзу, вводиться в дію поетапно. Законодавчо, як частина Європейської зеленої угоди, він набирає чинності в 2026 році, а звітність почнеться вже в 2024 році.

Механізм ґрунтується на наборі інструментів та рекомендацій, розроблених Інститутом світових ресурсів (WRI) та Світовою радою з питань сталого розвитку бізнесу (WBCSD), які допомагають організаціям та урядам обліковувати та управляти викидами парникових газів. Протокол з викидів парникових газів (GHG Protocol) охоплює наступні області викидів: Scope 1 – прямі викиди з власних або контрольованих джерел; Scope 2 – непрямі викиди від виробництва придбаної енергії; Scope 3 – всі інші непрямі викиди, які виникають в ланцюжку життєвого циклу.

Вище наведене підкреслює доцільність розгляду сучасних технологічних рішень, які впроваджуються в металургії з урахуванням їх еколого-економічної ефективності реалізації у практиці.

У другому розділі «Тенденції розвитку металургійної промисловості в світі в теперішній час» розглянуті основні виробничі процеси в металургії та більш детально приділено увагу сучасним світовим технологіям виробництва металопродукції, зокрема H-DR, MIDREX, ItMK3.

На підставі огляду проблематики металургійних процесів виявлено, що як основних чинників впливу на якість атмосферного повітря, слід розглядати викиди коксохімічного, агломераційного, доменного, феросплавного та сталеплавильного виробництва. Коксохімічне, агломераційне, феросплавне виробництво спрямовані на виробництво складових «частин» – продуктів для їх подальшого використання насамперед в доменному виробництві, й являються свого роду підготовчими процесами.

Доменне виробництво є першою ланкою технологічного циклу металургійного заводу з повним металургійним циклом та металургійного комбінату. Основним результатом цієї ланки є чавун.

Подальше з чавуну роблять насамперед сталь. Сталь дорожча, ніж чавун та має кращі фізико-хімічні властивості. Завдяки своїм властивостям, сталь є основним конструкційним матеріалом. Основними способами сталеплавильної переробки є конверторний, мартенівський, електричний.

Найбільш поширеним способом сталеплавильної переробки є конверторний спосіб, а точніше його різновид – киснево-конверторний. Киснево-конверторний спосіб одержання сталі – процес виробництва сталі продуванням рідкого чавуну в основних конверторах технічно чистим киснем.

Під час цього процесу використовується фізичне тепло рідкого чавуну і екзотермічних реакцій вигоряння домішок, тому він не потребує палива.

Якщо розглядати домено-конверторний спосіб отримання сталі більш детально, то можна дійти наступних висновків: виготовлення сталі є енергетично та вуглецевоємним процесом, тому що під час виробничих операцій використовуються вугілля та вапняк. Саме ці складові дають найбільш вагомую частину утворення CO₂. Згідно статистичних даних сьогодні 70% сталі виробляється цього способу.

Безпосереднє виробництво заліза або пряме одержання заліза – це відносно високотемпературний процес безпосереднього (обминаючи доменне виробництво чавуну) відновлення заліза з руд. Продукт процесу зазвичай називають залізом прямого відновлення (DRI від англ. Direct Reduced Iron). В різних інформаційних джерелах також використовуються терміни: металізація (часткова металізація) руд, пряме отримання заліза, бездоменна (недоменна) металургія заліза, безкоксва металургія заліза.

За однією з поширених класифікацій процесів DRI за видом одержуваного продукту розрізняють: отримання частково металізованих (ступінь металізації 30-50%) матеріалів для доменних печей; отримання високометалізованого продукту (85-95%) у твердому вигляді (губчастого заліза) для переплавки в

сталеплавильних агрегатах з отриманням сталі; в пластичному стані (кричного заліза) для різних цілей, у тому числі як варіант пірометалургійного збагачення важкозбагачуваних, бідних та комплексних руд; рідкого металу.

На підставі аналітичного огляду виявлено перспективні наступні сучасні DRI технології, зокрема водневого відновлення заліза H-DR, технологія MIDREX, технологія ItMK3.

У третьому розділі *«Огляд потенціалу сучасного електросталеплавильного комплексу»* на підставі аналізу енергоємності розглянуто потенціал сталого розвитку сталеплавильного виробництва.

Впровадження інноваційних рішень у металургії сприяють досягненню стратегічних цілей сталого розвитку, серед яких виділяють викиди парникових газів у атмосферне повітря та енергоємність металевої продукції, які, як правило, взаємопов'язані.

Зростає кількість підприємств перехідного типу з повним циклом, тобто заводи, що мають у складі модулі. Наразі популяризуються інтегровані міні-заводи, здатні використовувати первородну продукцію процесів прямого відновлення (гаряче брикетоване залізо (HBI), прямого відновлення (DRI)).

При оцінці ефективності технологій враховуються всі екологічні впливи від виробництва, в тому числі прямі і непрямі енерговитрати та викиди забруднюючих речовин. Енергетичні та екологічні показники також є визначальними для положення виробника сталі у світових рейтингах, таких як рейтинг ризику ESG компаній.

У четвертому розділі *«Екологічне оподаткування за викиди в атмосферне повітря двоокису вуглецю стаціонарними джерелами забруднення»* розглянуті сучасна система екологічного оподаткування за викиди двоокису вуглецю, які утворюються під час виробничої діяльності металургійних підприємств.

Не дивлячись на значне зростання ставки екологічного податку за викиди в атмосферне повітря двоокису вуглецю від 01.01.2022 р. з 10 гривень за тону

CO₂ до 30 гривень за тону CO₂., цей фіскальний платіж залишається одним з найнижчих аналогічних фіскальних платежів в Європі.

За експертними висновками станом на 2021 р. внаслідок нестачі належних процедур контролю оподатковувалось лише близько 29 % викидів парникових газів в Україні.

На підставі нарахування екологічного податку на одну тону металопродукції виявлено, економічну доцільність максимального використання вторинної сировини. При цьому було враховано значення питомих викидів двоокису вуглецю на тону сталі у розрізі таких основних технологій, як: 2,2 т CO₂ / т сталі – доменно-конверторний спосіб BF-BOF, 1,0 т CO₂ / т сталі – технології прямого відновлення заліза EAF (DRI), 0,3 т CO₂ / т сталі – електросталеплавильна технологія EAF (брухт). Порівняння технологій, які використовують викопні копалини у виробничому процесі, вважається, що EAF (DRI) є оптимальнішою за BF-BOF. При цьому треба зазначити, що впровадження технології BF-BOF в теперішній час дешевше і навіть з такими показниками рентабельність вища за технологію EAF (DRI).

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі представлені результати пошуку перспективних напрямків розвитку металургійної промисловості в області мінімізації викидів парникових газів.

Основні результати досліджень представлені нижче.

1. Реалізація політики вуглецевої нейтральності країн-членів Європейського Союзу відображена у вигляді механізму регулювання кордонів викидів вуглецю, який слід розглядати додатковим чинником сталого розвитку металургії.

2. За результатами аналітичних досліджень виявлені актуальні напрямки розвитку чорної металургії за рахунок впровадження у виробничу діяльність сучасних технологій, зокрема доменно-кисневого способу виготовлення сталі

BF-BOF, технології безпосереднього виробництва заліза (водневе відновлення заліза H-DR, технологія MIDREX, технологія ItMK3), які є доцільні в розрізі екологічної та економічної позицій.

3. Сучасні металургійні міні-заводи спрямовані на вирішення місцевих проблем утилізації брухту, а ефективність їх роботи обумовлена більш низькими капітальними витратами, меншою площею, меншим сумарним споживанням енергії на виробництво та зменшенням кількості викидів шкідливих речовин в атмосферу.

4. На підставі аналізу екологічного оподаткування за викиди в атмосферне повітря двоокису вуглецю стаціонарними джерелами забруднення в Україні та за кордоном, підкреслена доцільність пошуку інноваційних технологій виготовлення металопродукції та модернізації вже існуючих виробничих потужностей, зокрема висвітлена еколого-економічна доцільність максимального використання вторинної сировини. При цьому в технологіях, які використовують викопні копалини у виробничому процесі EAF (DRI) є оптимальнішою за BF-BOF. При цьому треба зазначити, що впровадження технології BF-BOF в теперішній час дешевше і навіть з такими показниками рентабельність вища за технологію EAF (DRI).

ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Навольнев І.Ю., Максимова Н.М. Деякі питання нормативно-правового забезпечення захисту довкілля в Україні. *MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education: International scientific conference, Riga, the Republic of Latvia, 29–30 November 2023. Riga, Latvia: “Baltija Publishing”, 2023. Vol. 2. 207-210 pages.*

АНОТАЦІЯ

Навольнєв І.Ю. Перспективні напрямки розвитку металургійної промисловості в області зменшення викидів парникових газів.

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

Робота присвячена аналізу сучасних напрямків розвитку металургії, спрямованих на мінімізацію її впливу на повітряний басейн та супутнього екологічного оподаткування.

Запущений механізм регулювання кордонів викидів вуглецю є інструментом опосередкованого регулювання викидів парникових газів, в тому числі, металургійними підприємствами в місцях їх знаходження. Для визначення шляхів мінімізації техногенного навантаження виконано аналіз різних методів виробництва сталі. Розглянуто ряд перспективних технологій: H-DR, MIDREX, ItMK3. При цьому, зазначено й перспективний напрямок впровадження інтегрованих електросталеплавильних міні-заводів, здатних використовувати як брухт, так й первородну продукцію процесів прямого відновлення, зокрема гаряче брикетоване залізо (HBI) та прямого відновлення (DRI). При оцінці ефективності враховуються екологічні впливи від виробництва, в тому числі прямі і непрямі енерговитрати та викиди забруднюючих речовин. Ці показники також є визначальними для положення виробника сталі у світових рейтингах, таких як рейтинг ризику ESG компаній. Система екологічного оподаткування за викиди парникових газів у атмосферне повітря виступає у якості інструменту контролю. На підставі нарахування екологічного податку на одну тону металопродукції, отриманої доменно-конверторним способом BF-BOF, за технологіями прямого відновлення заліза EAF (DRI), за електросталеплавильною технологією EAF (брухт), виявлено економічну доцільність максимального використання вторинної сировини, а порівняння технологій, які використовують викопні

копалини у виробничому процесі, показало, що EAF (DRI) є оптимальнішою за BF-BOF.

Ключові слова: парникові гази, тенденції розвитку металургійної промисловості, безпосереднє виробництво заліза, енергоємність сталеплавильного виробництва, викиди двоокису вуглецю, екологічне оподаткування.

ABSTRACT

Navolniev I. Prospective directions for the development of the metallurgical industry in the area of reducing greenhouse gas emissions.

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

The work is devoted to the analysis of modern trends in the development of metallurgy aimed at minimizing its impact on the air basin and accompanying environmental taxation.

The launched mechanism for regulating carbon emission boundaries is a tool for indirect regulation of greenhouse gas emissions, including by metallurgical enterprises in their locations. In order to determine the ways of minimizing the man-made load, an analysis of various methods of steel production was performed. A number of promising technologies are considered: H-DR, MIDREX, ItMK3. At the same time, a promising direction for the introduction of integrated electric steelmaking mini-plants capable of using both scrap and primary products of direct reduction processes, in particular hot briquetted iron (HBI) and direct reduction (DRI), is indicated. When evaluating efficiency, environmental impacts from production are taken into account, including direct and indirect energy consumption and emissions of pollutants. These indicators are also decisive for the position of the steel producer in global ratings, such as the ESG risk rating of companies. The system of environmental taxation for emissions of greenhouse gases into the atmosphere acts as a control tool. Based on the calculation of the environmental tax per ton of metal products obtained by the blast furnace-converter method BF-

BOF, according to the technologies of direct recovery of iron EAF (DRI), according to the electric steel smelting technology EAF (scrap), the economic feasibility of the maximum use of secondary raw materials was revealed, and a comparison of technologies that use fossil fuels in the production process, showed that EAF (DRI) is more optimal than BF-BOF.

Keywords: greenhouse gases, trends in the development of the metallurgical industry, direct iron production, energy intensity of steelmaking, carbon dioxide emissions, environmental taxation.