

УДК 669.1:005(474)

О. І. Бабаченко, д.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0001-7501-4173**Л. Г. Тубольцев**, к.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0001-9540-3037**О. Є. Меркулов**, д.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0002-7867-0659**Г. В. Левченко**, д.т.н., проф., ORCID 0000-0003-1173-5320*Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України*

НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ СУПРОВОДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ УКРАЇНИ

Анотація. У статті розглянуто перспективи науково-технічного супроводження розвитку чорної металургійної України з урахуванням наслідків військової агресії РФ. На основі комплексного аналізу сучасного стану галузі визначено можливості реалізації сучасних і перспективних технологій металургійного виробництва відповідно до запропонованого проекту «Концепції сталого розвитку чорної металургії України». Обговорено можливі сценарії та етапи розвитку чорної металургії, визначено пріоритетні напрями на найближчу, середню та довгострокову перспективи. Наголошено, що розвиток чорної металургійної та гірничо-металургійного комплексу України в цілому має бути пов'язаний з реалізацією кращих доступних технологій (Best Available Techniques), проведенням перспективних наукових досліджень та здійсненням системного науково-технічного супроводу виробництва. Розглянуто пріоритетні напрямки розвитку підгалузей металургійної галузі. Запропоновано перспективні шляхи поліпшення технологій за всіма основними металургійними переробами. Відзначено, що поряд з удосконаленням процесу одержання чавуну в доменних печах доцільно розвивати позадомне виробництво з використанням наявних в Україні сировинних матеріалів. Прогрес у сталеплавильному виробництві, перш за все, зумовлений удосконаленням сучасних киснево-конвертерних і електросталеплавильних технологій. Встановлено, що прокатне виробництво потребує модернізації промислового обладнання та збільшення асортименту металопродукції. Показано, що декарбонізація виробництва сталі має стати перспективним напрямком розвитку металургійної галузі та одним із засобів вирішення екологічних проблем. Визначено цільові індикатори сталого розвитку та ефективності науково-технічного супроводження металургійної галузі у перспективі до 2050 року. Успішне вирішення завдань і реалізація напрямів перспективного розвитку, визначених Концепцією, дозволить металургійній промисловості надійно закріпитися на траєкторії сталого зростання і забезпечити Україні одну з конкурентних переваг на міжнародній арені.

Ключові слова: чорна металургія, гірничо-металургійний комплекс України, перспектива, Концепція, технології, науково-технічне супроводження.

Посилання для цитування: Бабаченко О. І., Тубольцев Л. Г., Меркулов О. Є., Левченко Г. В. Науково-технічне супроводження Концепції сталого розвитку чорної металургії України. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2022. Вип. 36. С. 4-20. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-4-20.

Стан проблеми. Події 2014 року показали, що проблеми національної безпеки можуть стати загрозою для існування самої держави [1]. З 2015 року підприємства ГКМ України продовжують працювати в складних виробничих і фінансових умовах. Припинення роботи деяких підприємств внаслідок військових дій, істотне падіння виробництва і низький рівень світових цін не дозволяють металургам стабілізувати ситуацію. За час бойових дій тільки у 2014 році на південному сході зруйновано 10 % промислового потенціалу країни, близько 25 % – зупинено. На східні регіони припадало близько 16 % ВВП країни. Ще більші втрати металургійна промисловість понесла під час воєнної агресії РФ проти України у 2022 році. Ця війна вже призвела до повної зупинки металургійних комбінатів ПрАТ «МК «Азовсталь» та ПрАТ Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча», призупинено виробництво на ПАТ «Запоріжсталь. Станом на кінець 2022 року Україна загалом втратила більше 60 % металургійних потужностей.

Поки що на найближчий час необхідно враховувати втрату Маріупольських металургійних комбінатів, раніше втрачених Алчевського комбінату, Макіївського комбінату, Єнакієвського та Донецького металургійних заводів. На кінець 2022 року в активі ГКМ є лише такі металургійні потужності: ПАТ «Запоріжсталь» (з мартенівськими печами та без МБЛЗ); ПАТ «АрселорМітталл Кривий Ріг» (поки що перспектив запуску не має внаслідок близької лінії фронту); ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ») у м. Каменське – яке на сьогодні є найбільш «боєздатним» підприємством галузі; МЗ «Дніпроспецсталь» (запуск виробництва невизначений через вплив російських акціонерів); Дніпровський метзавод (не планується запуск доменного та сталеплавильного виробництва).

В останні роки металургійна галузь втрачала свої позиції як в економіці країни, так і у світі. Динаміка виробництва сталі в Україні суттєво відрізнялася від світової – у світі виробництво сталі зростало, в Україні – падало. Особливо критичним стало падіння виробництва сталі в Україні у 2022 році майже на 70 % [2]. Військова агресія РФ призвела також і до падіння виробництва сталі у світі майже на 5 % (рис. 1) [3].

Указом Президента України від 21 квітня 2022 року № 266 передбачено розроблення заходів з відновлення України від наслідків війни. В умовах війни з РФ питання відновлення роботи ГКМ України стоїть на першому порядку денному, що сприятиме не тільки підвищенню економіки, але і національної безпеки держави. Тому державі необхідно створювати нову стратегію національної безпеки у металургійній галузі та всієї промисловості України, зокрема, шляхом створення «Концепції сталого розвитку чорної металургії України до 2050 року» (далі – Концепція) [4].

Мета дослідження – розроблення пропозицій щодо науково-технічного супроводження Концепції сталого розвитку чорної металургії України відповідно до сучасних умов промислового виробництва.

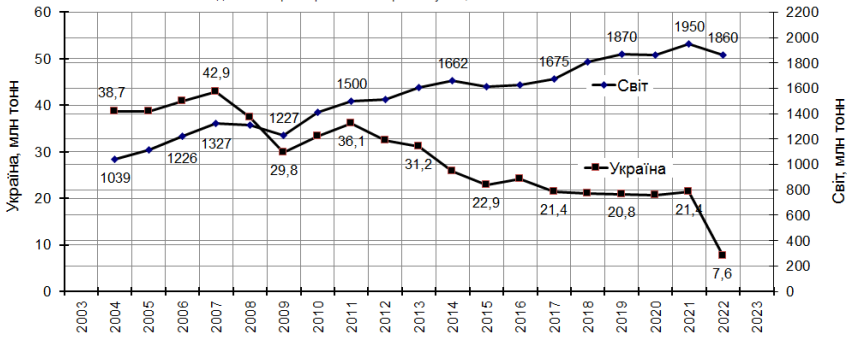


Рисунок 1 – Динаміка виробництва сталі у світі та в Україні.

Методика дослідження – системний аналіз стану вітчизняної та світової металургії з відкритих джерел, статистичні методи збору, обробки інформації та прогнозу.

Основні результати дослідження. З 1954 року в Україні активно розвивалися наукові дослідження та використовувалися досягнення світової металургії, зокрема розвивалися технології доменного виробництва, впроваджувалися сучасні технології виробництва сталі у кисневих конвертерах, розширювалося використання процесів безперервного розливання сталі [5]. Це в свою чергу сприяло збільшенню обсягів виробництва сталі в Україні. Однак, внутрішні проблеми, умови роботи на зовнішніх ринках і вплив світових фінансових криз призводили до нестабільних умов роботи металургійної галузі та до коливання обсягів виробництва сталі з 1990 року та донині. Навіть за оптимістичним сценарієм виробництво сталі в Україні в 2022 році внаслідок воєнної агресії РФ зменшиться до рівня 7,6 млн.т (20 місце у світі і падіння на 62,1 %), а експорт сталевого прокату прогнозується на рівні 4,7 млн тонн. (рис. 2) [6].

Внаслідок руйнуванням військами РФ металургійних підприємств України ГМК у кращому випадку вийде на рівень 2021 лише в 2026 році [7]. Враховуючи обсяги виробництва сталі в Україні у 2004-2021 роки та згідно з умовами прогнозування можна визначити мінімально можливий та обережно оптимальний рівень виплавляння сталі до 2035 року на рівні 25 та 34 млн т відповідно (рис. 3).

Згідно з цими розрахунками виробничі потужності з виробництва сталі в Україні доцільно мати на рівні 35-38 млн т, що забезпечить можливість стабільного виробництва сталі на рівні 25-35 млн т на рік, забезпечить внутрішню потребу країни у металопродукції на рівні 12-13 млн т та достатній експортний потенціал. Однак слід врахувати, що досягти таких показників можливо лише за умови відродження потенціалу металургійної галузі та застосування наукових досягнень у модернізації металургійних технологій [8].

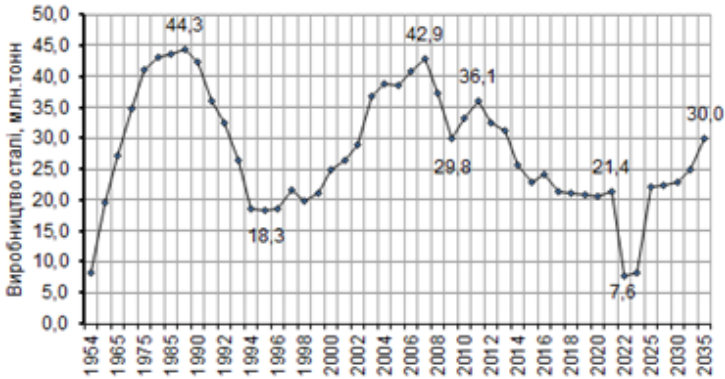


Рисунок 2 – Виробництво сталі в Україні у 1954-2022 роках та прогноз до 2035 року, млн тонн.

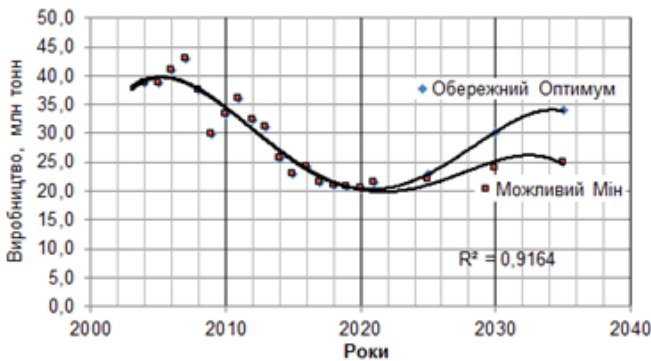


Рисунок 3 – Виробництво сталі в Україні до 2021 року та прогноз до 2035 року, млн тонн.

Одним з показників удосконалених технологій може бути співвідношення виробництва чавуну та сталі. В Україні цей показник за роками змінювався. Динаміка виробництва чавуну та сталі в Україні (рис. 4) свідчить, що до 2014 року у металургійній галузі відбувалися позитивні процеси технологічного розвитку і виробництво сталі перевищувало виробництво чавуну майже на 25 % (рис. 5). З 2014 року почало переважувати постачання чавуну на експорт, що призвело до погіршення цього співвідношення.

У найближчій перспективі у світі не очікується суттєвих змін у технологіях чорної металургії. Тенденція зменшення енерговитрат призводить до прийняття в світі рішень щодо скорочення потужності з виробництва сталі [9]. До 2030 року буде сформовано умови для розвитку

виробництва прямих відновленого заліза DRI (Direct Reduced Iron), частка якого в обсязі виробництва сталі з використанням залізородної сировини буде зростати. До 2030 року у світі заплановано відкриття нових виробництв із випуску DRI. За оцінками Міжнародного енергетичного агентства (IEA), виробництво DRI до 2050 року у світі зросте до 411 млн тонн.

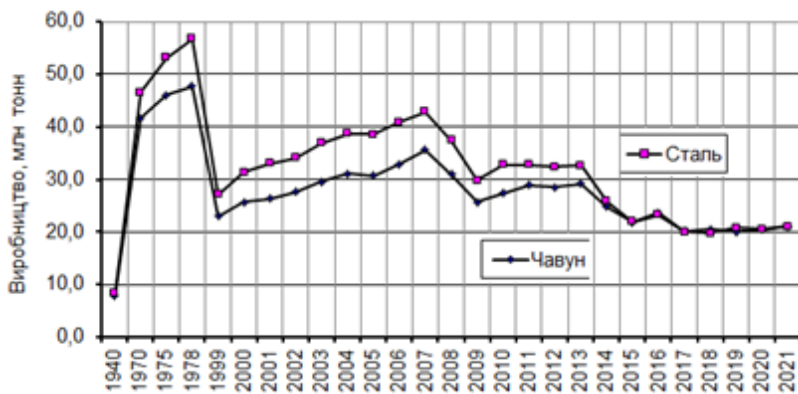


Рисунок 4 – Динаміка виробництва чавуну та сталі в Україні за 1940-2021 роки, млн тонн.

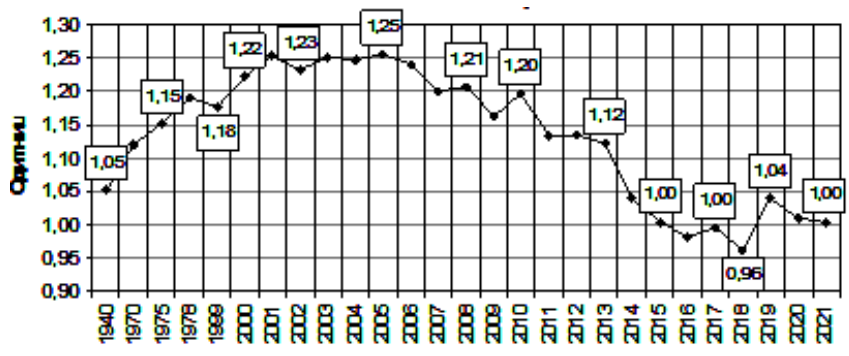


Рисунок 5 – Зміна співвідношення «чавун-сталь» сталі в Україні за 1940-2021 роки, одиниць.

Більшість нових металургійних технологій, що розробляються, до 2030 року тільки вийдуть на етапи промислових випробувань у світі, а тому на цей період в Україні буде зберігатися традиційна схема виробництва сталі: доменна піч-кисневий конвертер. До 2030 р. основні шляхи розвитку чорної металургії України будуть пов'язані з реалізацією заходів щодо ресурсо- та енергоефективності виплавки чавуну і сталі, а також зі

створенням інтелектуальних систем управління технологічним процесом. Перехід металургії на нові технологічні схеми виробництва металів слід очікувати до 2050 року.

Чинниками розвитку металургии в Україні мають стати:

- модернізація на основі сучасних технологій, технічне переозброєння металургії та розвиток сортаменту продукції, щ є вкрай необхідним;
- збільшення попиту на металургійну продукцію з високою доданою вартістю, що якісно змінить структуру галузі.

У найближчий та середньостроковій перспективі розвиток індустріального сектору та будівництва інфраструктури України затребує збільшення внутрішнього споживання продукції чорної металургії з 4-5 млн т до 12-15 млн т щорічно. Бажано також зберегти максимально можливі обсяги експорту для валютного поповнення бюджету.

З розвитком машинобудування в Україні потреба у різних видах металопродукції високої якості буде зростати, що потребує наукових досліджень для створення нових процесів і технологій, а також та науково-технічного супроводу впровадження їх у виробництво.

Необхідно врахувати потребу в внутрішнього ринку у металопродукції з сучасними властивостями міцності та експлуатаційними властивостями, у тому числі, у випуску малих партій прокату з регламентованим рівнем властивостей. Виробництво масових видів металопрокату для будівельної галузі, залізничного транспорту, машинобудування та інших галузей потребує використання нових марок сталей, забезпечення їх якості на рівні найкращих світових стандартів, використання сучасних вітчизняних наукових розробок, нових технологій термічної обробки металопрокату (диференціальне охолодження, деформаційно-термічна обробка, загартовування тощо). Застосування високоміцних матеріалів дозволить знизити металоємність конструкцій та виробів машинобудування.

Сценарій розвитку підприємств чорної металургії України складається із трьох етапів, виконання яких може відбуватися паралельно.

Етап 1. Енергозбереження та енергоефективність.

Металургійний сектор є великим споживачем природного газу та вугілля. Водночас Україна, як і Європа, не має достатньо ресурсів природного газу, разом із вугіллям. Європа почала згортати ту частину металургійної промисловості, яка сильно залежить від газу і коксу, що використовуються в доменних печах, і стала переходити до електродугових печей, які не потребують останніх. Україні доцільно дотримуватись цієї політики, виробляючи напівфабрикати для європейського виробництва сталі: гранули заліза прямого відновлення (DRI Pellets), гаряче брикетоване залізо (HBI) та чавун;

Європа працює над розробкою ресурсів «зеленої енергетики» в різних секторах, включно з металургійним сектором, і нещодавно розпочала нову програму виробництва залізних окатишів з використанням такого

відновлюваного джерела енергії як водень. Україна має великі можливості для виробництва «зеленої енергії», у тому числі водню, і має запаси залізної руди гарної якості; таким чином Україна зможе ефективно брати участь в цій програмі та інтегруватися з Європою.

Оскільки Україна має великі запаси бурого вугілля (близько 30 млрд. тон), доцільно розвивати виробництво енергії та синтез-газу з цього ресурсу, впроваджувати технології удосконалення бурого вугілля, його газифікації та піролізу. Усі ці технології технічно життєздатні та можуть бути надані європейськими інжиніринговими партнерами. Зменшити енергетичну залежність країни можливо також шляхом застосування альтернативної енергії сланцевого газу, вітру, водню, біомаси.

Необхідним є розвиток металургійної промисловості України нового покоління, що зменшує залежність від природного газу та коксу; Для підвищення енергоефективності потрібне покращення роботи обладнання та поступове його оновлення згідно з наявними найкращими доступними технологіями (best available technology, BAT) [10]. За оцінками International Energy Agency, за рахунок покращення операційної ефективності можна заощадити близько 20% енерговитрат у перерахунку на тону сталі, що також принесе позитивний екологічний та економічний ефект.

Етап 2. Оптимізація металургійних процесів:

- а) оптимізація структури сировини та палива;
- б) стимулювання переробки брухту;
- в) розвиток утилізації відходів;
- г) стимулювання споживання енергії з відновлюваних джерел.

Етап 3. Нові технології з низьким вуглецевим слідом [11]:

- а) водневі технології (Direct Reduction Iron + H₂);
- б) технології уловлювання і захоронення CO₂ (CCS/CCUS);
- в) відновлювальна плавка (Smelting reduction).

Пріоритетні напрямки розвитку гірничорудної підгалузі:

- перехід на комплексне використання видобутої гірничої маси;
- підвищення конкурентоспроможності товарної продукції за рахунок підвищення вмісту заліза у залізородних концентратах, впровадження магнітно-флотажної технології обробки залізородних концентратів, запровадження технології попередньої сухої магнітної сепарації магнетитових кварцитів;

- виробництво частково відновленої металургійної сировини (DRI) з використанням гематиту та бурого вугілля, виробництво «зелених» залізних окатишів із використанням відновлюваних джерел енергії;

- розвиток виробництва гранул DRI, HBI з використанням вітчизняної сировини, що може забезпечити експорт цієї продукції, враховуючі інтерес країн ЄС до поліпшення екологічної ситуації;

- визначення оптимального рівня підвищення якості сировинних залізородних матеріалів.

Аглодоменне виробництво, пряме відновлення заліза.

Доменне виробництво в Україні до 2022 року було предметом найбільшої уваги на металургійних підприємствах та характеризується досить високим технічним рівнем. Капітальні ремонти печей та їхньої модернізація відповідала сучасному рівню виробництва. У той же час не всі проблеми були вирішені, мали місце підвищені енерговитрати, складна екологічна ситуація, проблеми автоматизації та керування технологічними процесами. Потребує уваги розвиток нових видів залізородних матеріалів та енергоресурсів, нових досліджень та технологій.

Необхідним є застосування найкращих відомих та доступних технологій (ВАТ) виробництва чавуну.

Перспективним є застосування металізованої сировини в доменній плавці (технологія виробництва попередньо відновленого агломерату (ПВА) на стандартній агломераційній машині). Можливо очікувати, що завдяки підвищенню ступеня відновлення агломерату ця технологія дозволить суттєво підвищити продуктивність доменної плавки.

Використання коксового газу як газу-відновника дозволяє розширити можливості як доменного процесу, так і установок прямого відновлення. Інвестиційні витрати на спорудження цеху прямого відновлення з гарячим завантаженням заліза в кисневий конвертер окупаються приблизно за три роки.

Поліпшення якості підготовленої до доменної плавки залізородної сировини та коксу, зокрема, з використанням відходів металургійного виробництва та брикетування, дасть змогу поліпшити енергетичні показники та зменшення шкідливих викидів.

Прагнення підвищити екологічну безпеку металургійних технологій пов'язане з тенденцією підвищення частки окатишів у доменній плавці.

Відзначається тенденція використання металізованих брикетів у шихті, що сприятливо позначається на енергетичних показниках доменної плавки та підвищенні її продуктивності.

Пряме відновлення заліза. У світовій металургії вже створено та експлуатується десятки агрегатів прямого відновлення заліза. Домінуюче становище у виробництві губчастого заліза займають процеси Midrex (63 – 65 %). Різновиди процесу використовують як природний газ, так і газифікацію недефіцитних видів вугілля. Проте, їх реалізація в Україні найближчим часом навряд чи можлива за цілою низкою обставин, однією з яких є достатньо потужний парк доменних печей.

Наукою розроблено низку напрямів модернізації доменної плавки, які успішно впроваджуються в Україні під час проведення капітальних ремонтів доменних печей. Серед них можна відзначити такі:

- вдосконалення параметрів профілю печі (збільшення обсягу печі, збільшення висоти горна, підвищення рівня повітряних фурм, збільшення кількості повітряних фурм);

- застосування безконусних завантажувальних пристроїв (БЗП), а також раціональних програм та режимів завантаження шихти;
- нова конструкція та аспірація ливарного двору;
- нові рішення конструкції повітрянагрівачів (незалежне спирання купола, використання відповідних вогнетривів, вдосконалення пальників, централізована подача повітря горіння, підігрів повітря та газу горіння, використання безшахтних повітрянагрівачів, захист труби «тяги» парою);
- експертна система доменного процесу;
- система контролю стану футерування печі.

У доменному виробництві для перспективного розвитку металургії України актуальним є вирішення таких науково-технічних завдань:

- вирішення комплексу енерготехнічних проблем зниження витрат коксу на доменному виробництві;
- розробка нових способів безкоксового отримання первинного металу, технології та обладнання для відновлення оксидів заліза та прямого отримання заліза;
- розробка металургійних технологій із застосуванням водню в якості палива та відновників;
- розробка технології виплавки чавуну з використанням газоподібних, рідких та пилоподібних паливних добавок з метою зменшення витрат коксу до 300 кг/т чавуну;
- розробка технологічних вимог до коксу та залізовмісних шихтових матеріалів, що забезпечують ефективну роботу доменних печей з використанням заміників коксу;
- розробка технології доменної плавки з використанням частково відновлених залізородних матеріалів;
- розробка нових критеріїв оцінки та методів управління розподілом шихти та газів у доменній печі;
- створення та ефективне застосування засобів контролю параметрів доменної плавки, нового покоління АСУ та діагностики стану обладнання та футерування, в тому числі експертних систем на основі нейронних мереж та методів нечіткої логіки;
- створення технологій повторної переробки відходів плавки та вилучення з них кольорових металів та лугів.

Можливі способи підвищення енергоефективності аглодоменного виробництва:

- якість сировини – додатковий чинник ефективності виробничих процесів. Наприклад: чим вище вміст заліза в залізородній сировині або чим вищий рівень агломерування залізородної сировини до введення в доменну піч, тим менше потрібно енергії для відновлення заліза з руди;
- встановлення систем утилізації відпрацьованого тепла. Дозволяє зменшити енергоспоживання на всіх етапах виробничого процесу;
- встановлення турбін з рекуперацією верхнього тиску, які

використовують тиск та тепло доменного газу для виробництва електроенергії. Завдяки такій установці можна отримувати 30-40 кВт·год електрики на кожній тонні чавуну при використанні системи мокрого пилоочищення газів, що відходить (обсяг генерації електроенергії можна збільшити до 50-60 кВт·год при використанні сухого видалення пилу);

Ще одним способом знизити енергоспоживання є додавання металобрухту до складу шихти. Однак широке використання цієї стратегії стримується через обмеженість доступних запасів брухту.

Сталеплавильне виробництво.

У світовій практиці мартенівське виробництво вважається застарілим і в розвинених країнах його практично повністю замінили на киснево-конвертерне та електросталеплавильне. Проте в Україні мартени ще працюють на двох найбільших металургійних комбінатах.

Частка киснево-конвертерного виробництва сталі в Україні відповідає світовому рівню, але більшість конвертерних цехів експлуатується тривалий час, протягом якого реконструкції обладнання та вдосконаленню технології приділялася недостатня увага. У зв'язку з цим технічний рівень цехів залишився практично таким самим, яким він був у період введення в експлуатацію і відстає від сучасного рівня розвинених країн.

Великі проблеми з металобрухтом, який надходить нерівномірно і призводить до великих простоїв. Не забезпечуються і вимоги щодо забруднення брухту неметалевими матеріалами та кольоровими металами.

При виробництві сталі в конвертерах із застосуванням кисню пріоритет віддається технологічним рішенням, які спрямовані на зниження втрат енергії, заліза, вогнетривів та інших витратних матеріалів при зниженні шкідливого впливу на навколишнє середовище за рахунок зменшення викидів вуглекислого газу та пилу, ефективної переробки металобрухту, утилізації технічної води, розвитку транспортної системи тощо. Основний прогрес буде досягатися в частині удосконалення процесу виплавки сталі з метою підвищення продуктивності плавильного агрегату за умови комплексної автоматизації всіх елементів технологічного ланцюга, що забезпечить додатковий енерго- та ресурсозберігаючий ефект, екологічну безпеку, а також оптимальні економічні показники.

У сталеплавильному виробництві потрібна розробка перспективних процесів і нових матеріалів, зокрема:

- комплексної технології виробництва сталі, що включає обробку чавуну та напівпродукту для знекремнювання, десульфурації, дефосфорації, деазотації;
- технології виробництва низько і наднизьковуглеродистих сталей у кисневому конвертері з комбінованою продувкою;
- наскрізних технологій безперервного виробництва сталі;
- нових та удосконалення існуючих способів безперервного розливання сталі.

У галузі сталеплавильного виробництва певні переваги в ціні, гнучкості виробництва та екологічної безпеки мають країни, що виплавляють її в електропечах. Проте слід ураховувати, що металевий брухт як сировина для електросталі вже містить у собі енергетичні запаси минулих виробництв, внаслідок чого техногенне навантаження виробництва знижується в 1,5- 2 рази. Безумовно, частка виплавки сталі в електропечах в Україні буде збільшуватися, про що свідчать пропозиції щодо створення електросталеплавильного виробництва на ряді металургійних підприємств. Але забезпечення металургійних підприємств металобрухтом вже сьогодні є проблемним питанням. Тому значного розвитку електросталеплавильного виробництва в Україні очікувати важко.

Для вдосконалення виробництва високоякісних сталей перспективним є подальший розвиток в Україні електрометалургії, яка використовує такі рафінуючі переplastні процеси як електрошлаковий, вакуумно-дуговий, плазово-дуговий, вакуумно-індукційну плавку.

Прокатне виробництво.

В останні роки в Україні розвитку прокатного виробництва приділялося недостатньо уваги, що пов'язано із спрямованістю експорту на сировину та напівфабрикати.

Ряд прокатних станів, які виробляють основну масу продукції та є найбільш високопродуктивними, механізованими та частково автоматизованими агрегатами, побудовані на металургійних підприємствах України ще у 60-70 роки. На сучасних станах зосереджено основне (43 %) виробництво сортового прокату, переважно дрібносортового (46,5 %) та катанки (35,3 %). Технічний рівень таких станів по відношенню до зарубіжних аналогів оцінюється коефіцієнтом 0,85, технічний стан – задовільний, середній термін експлуатації – близько 70 років. На застарілих станах невеликої потужності випускається широкий сортамент профілів галузевого та спеціального призначення, а також прості профілі із якісних конструкційних та легованих марок сталі. Виведення їх з експлуатації без заміни неприпустимо за умов неможливості розміщення сортаменту, що виробляється на них, на діючих станах.

Порівняння технічного рівня вітчизняних і зарубіжних листових станів показало, що вітчизняні стани поступаються в масі рулонів, швидкості заправки і прокатки, можливостях прокатки смуг мінімальної товщини. Основні характеристики станів холодної прокатки листа також не відповідають сучасним вимогам.

Розвиток прокатного виробництва має бути пов'язаний із розвитком внутрішнього ринку металопродукції за такими напрямками:

- реконструкція деяких прокатних станів з метою поліпшення структури прокату та підвищення його якості;
- розширення сортаменту прокату для задоволення потреб вітчизняної економіки;

- збільшення виробництва прокатної продукції з збільшеною додатковою вартістю;
- розробка та впровадження комбінованих процесів, що поєднують виплавку сталі в кисневих конвертерах або електропечах з безперервним розливанням сталі та суміщеною прокаткою;
- організація виробництва малих партій прокату спеціального призначення.

Використання технологій термічної обробки для виробництва високоміцного прокату, зокрема, дрібно та середньосортної арматури, катанки, кутових профілів, швелерів, шахтного кріплення, листового прокату, коліс та металопродукату для залізничного транспорту, а також інших видів ефективної металопродукції.

Нові технологічні схеми виробництва металопродукції.

Напрямки перспективного розвитку основних видів виробництва включає розроблення Схеми розміщення підприємств первинної та вторинної металургії. При розробці схеми розміщення металургійної промисловості України доцільно розглянути можливість створення нових вертикально інтегрованих виробничих потужностей на основі технологій електродугових печей: виробництво чавуну прямого відновлення + електродугова піч + машина безперервного лиття + прокатний стан для виробництва сталевих довгомірних виробів.

Декарбонізація виробництва сталі.

Декарбонізація потребує значних інвестицій. Оскільки досягнення карбонової нейтральності можливе лише шляхом докорінної зміни технологій виробництва та ланцюжків поставок, це вимагатиме від галузі значних інвестицій, порівнянних з будівництвом нових потужностей. Сума інвестицій у проекти декарбонізації в горизонті до 2050 р. оцінюється в середньому 1000 дол.США/тонну сталі, в діапазоні від 600 до 1850 дол. США/тонну сталі.

На даний час спроби зниження шкідливих викидів призводять до збільшення собівартості та зниження конкурентоспроможності металопродукції. Зокрема, в ЄС планується запровадити спеціальний механізм (Carbon Border Adjustment Mechanism), відповідно до якого імпорт продукції, виробленої з вищими, ніж у ЄС, викидами CO₂, буде оподатковуватись додатковою платою.

Вирішення задачі повної декарбонізації чорної металургії означає необхідність зведення питомих викидів парникових газів на 1 т сталі до нуля. Це можливо за рахунок:

- заміни вуглецю «зеленим» воднем (як відновника) та заміни частини викопного палива воднем та біомасою (як джерело енергії);
- підвищення частки прямого відновлення заліза та підвищення частки електросталі;
- підвищення енергоефективності існуючих технологій виробництва

(потенціал близько 20%);

- застосування технології вловлювання, зберігання та використання вуглецевих газів.

Технології виробництва сталі з низькими викидами CO₂ не набули поширення раніше, оскільки пов'язані з вищими виробничими витратами. Порівняно з виробництвом сталі традиційним шляхом доменна піч – конвертер (BF-BOF) виробництво тони сталі за низьковуглецевими технологіями обійдеться до 80 % дорожче.

Виробництво сталі за технологією DRI на 20 – 30 % дорожче, ніж традиційний шлях BF-BOF. Однак дана технологія забезпечує зниження питомих викидів CO₂ лише до 1,0 т/т сталі проти 2,2 т/т сталі при BF-BOF.

Екологія.

Для зменшення викидів парникових газів та впровадження технологій декарбонізації виробництва металопродукції необхідно:

- забезпечити впровадження найкращих відомих та доступних технологій металургійних технологій, що дозволять зменшити обсяг викидів забруднюючих речовин та парникових газів, скидів та утворення відходів виробництв;

- здійснити структурну перебудову та подальшу докорінну модернізацію металургійної галузі за рахунок впровадження енергозберігаючих та принципово нових технологій виробництва сталевих продукції;

- обмежити неефективний експорт сировинних матеріалів та напівфабрикатів; впровадити технології «зеленого» виробництва сталі;

- посилити роль наукових досліджень у виробництві металургійної продукції з малим вуглецевим слідом;

- посилити взаємодію науки, підприємств та держави у реалізації глобальних проектів виробництва маловуглецевої металургійної продукції.

Для вирішення поставлених питань доцільно врахувати такі пропозиції [12]:

- створити Державний орган, подібний до Комітету з науки і техніки СРСР, який би координував прикладні розробки і опікувався інноваціями разом з державними і іноземними інвестиціями, в першу чергу, в стратегічні галузі економіки. Це також дозволить розділити науку і загальну освіту;

- прийняти Верховною Радою України низку законів, які б стимулювали приватних підприємців і промисловість вкладати гроші у технологічні виробництва з максимально можливою доданою вартістю;

- наука має стати реальною силою, що визначає розвиток економіки і промисловості та реально впливає на стан справ у державі. Для цього перед наукою мають ставитися реальні завдання на перспективу та рахуватися з її рекомендаціями. Однак, це потребує також і доведення фінансування наукових досліджень до його «законного» розміру у 1,7 % ВВП, що є що є

також однією з вимог до вступу до ЄС (1%);

- нагальною необхідністю для реалізації науково-технічного супроводження Концепції є вивчення конкретних потреб промисловості у воєнний та повоєнний час, а також створення Стратегії реформ економіки України, узгодженої з Планом відновлення України.

Державна підтримка розвитку науково-технічного потенціалу країни, проведення фундаментальних та прикладних досліджень може забезпечити інноваційний розвиток промисловості, у т.ч. металургійної галузі. В металургійній галузі, поряд з формуванням нової технічної політики та розвитком фундаментальних досліджень, необхідно відродити ланку галузевої науки, з залученням Національної академії наук України. Державна підтримка академічних, науково-дослідних і проектних інститутів, що займаються фундаментальними дослідженнями і розробками, має стати непрямым заходом підтримки розвитку ГМК.

Цільовими індикаторами сталого розвитку та ефективності науково-технічного супроводження металургійної галузі у перспективі до 2050 року слід визнати наступні параметри:

- обсяги виробництва металургійної продукції за видами;
- розвиток сортаменту металургійної продукції високого ступеню переробки;
- збільшення обсягу споживання металопродукції на внутрішньому ринку;
- збереження експорту та позицій на зарубіжних ринках;
- рівень наближення до відповідних стандартів ЄС, підвищення конкурентоспроможності, питання енергозбереження тощо;
- зменшення рівня споживання енергоресурсів у металургійному виробництві;
- підвищення промислової та екологічної безпеки у металургійному виробництві;
- зменшення собівартості продукції;
- підвищення технічного рівня металургійного виробництва до кращих світових зразків;
- рівень використання наукових та технічних досягнень у виробництві;
- забезпеченість підприємств виробничими та науковими кадрами.

На науково-технічний супровід Концепції розвитку металургії України як основне завдання слід покласти видобуток нових знань про природу металургійних процесів. В жодній країні наука, як і оборона, освіта, медицина, не є ринковим продуктом, хоча певну комерційну складову вона містить. Держава, має взяти на себе забезпечення розвитку фундаментальних напрямів, бо саме вони визначають її світовий престиж. накопичення знань дає змогу розвивати технології і мати прибуток, який є не метою, а результатом фундаментальних досліджень.

Висновки. Внаслідок реалізації Концепції сталого розвитку чорної металургії України металургійна промисловість має надійно закріпитися на траєкторії сталого зростання, стане однією з конкурентних переваг України на міжнародній арені.

Науково-технічне забезпечення виконання Концепції має стати важливим інструментом сталого розвитку чорної металургії України.

Реалізація Концепції дозволить стабілізувати фінансово-економічний стан металургійних підприємств, прискорити структурну перебудову галузі в цілому, виконати технічне переоснащення застарілих підприємств, збудувати нові сучасні заводи, впровадити передові технологічні процеси, які забезпечать конкурентоздатність вітчизняної металургійної продукції на світовому ринку.

Перелік посилань

1. Большаков В. І., Тубольцев Л. Г. Чорна металургія і національна безпека України. *Вісник Національної академії наук України*. 2014. Вип. 9. С. 48-58.
2. Масштабы разрушений из-за войны. URL: <https://ubn.news/ru/proizvodstvo-stali-v-ukraine-v-2022-godu-s/>.
3. Мировое производство стали сокращается. URL: <https://www.metalinfo.ru/ru/news/139125>.
4. Грищенко С. Г., Гринев А. Ф., Тубольцев Л. Г. Проблемные вопросы развития горно-металлургического комплекса Украины. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2017. №1. С. 2-6.
5. Большаков В. И., Тубольцев Л. Г., Гринев А. Ф. Научно-техническое сопровождение развития черной металлургии Украины. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2012. № 6. С. 1-6.
6. Производство стали в Украине может достичь 7,6 млн т в 2022 году. URL: <https://gmk.center/news/proizvodstvo-stali-v-ukraine-mozhet-dostignut-7-6-mln-t-v-2022-godu>.
7. Перші підсумки діяльності металургів України у 2022 році. URL: www.gmk.center. <https://dia.dp.gov.ua/pershi-pidsumki-diyalnosti-metallurgiv-ukra%D1%97ni-u-2022-roci/>.
8. Большаков В. І., Тубольцев Л. Г. Чорна металургія і національна безпека України. *Вісник Національної академії наук України*. 2014. Вип. 9. С. 48-58.
9. Колісниченко В. Дистриб'ютори сталі в ЄС закликають виробників скорочувати потужності. URL: <https://gmk.center/ua/news/distrib-jutori-stali-v-ies-zaklikajut-virobnikiv-skorochuvati-potuzhnosti/>
10. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Integrated Pollution Prevention and Control. 2013. URL: <http://eippcb.jrc.es>.
11. Бабаченко О. І., Тубольцев Л. Г., Меркулов О. Є. Перспективи декарбонізації металургійних технологій. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2021. Вип. 35. С. 3-29. (In English, In Ukrainian). DOI: 10.52150/2522-9117-2021-35-3-29.
12. Локтев В. Жодні зміни неможливі, якщо їм опирається більшість. *СВІТ. Всеукраїнська газета для науковців та освітян*. № 43-44 (1223-1224), листопад 2022.

References

1. Bolshakov V. I., Tuboltsev L. G. Chorna metalurhiya i natsional'na bezpeka Ukrainy. [Ferrous metallurgy and national security of Ukraine]. *Visnyk Natsional'noyi akademiyi nauk Ukrainy*, 2014, 9. P. 48-58.
2. Masshtaby razrusheniya iz-za voyny. [The scale of destruction due to the war]. Available from: <https://ubn.news/ru/proizvodstvo-stali-v-ukraine-v-2022-godu-s/>.
3. Mirovoye proizvodstvo stali sokrashchayetsya. [World steel production is declining]. Available from: <https://www.metalinfo.ru/ru/news/139125>. [In Russian].
4. Grishchenko S. G., Grinev A. F., Tuboltsev L. G. Problemyye voprosy razvitiya gorno-metallurgicheskogo kompleksa Ukrainy. [Problematic issues of development of the mining and metallurgical complex of Ukraine]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. [Metallurgical and mining industry], 2017, No 1. P. 2-6. [In Russian].
5. Bolshakov V. I., Tuboltsev L. G., Grinev A. F. Nauchno-tehnicheskoye soprovozhdeniye razvitiya chernoy metallurgii Ukrainy. [Scientific and technical support for the development of ferrous metallurgy in Ukraine], *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. [Metallurgical and mining industry], 2012, No 6. P. 1-6. [In Russian].
6. Proizvodstvo stali v Ukraine mozhet dostich' 7,6 mln t v 2022 godu. [Steel production in Ukraine may reach 7.6 million tons in 2022.] Available from: <https://gmk.center/news/proizvodstvo-stali-v-ukraine-mozhet-dostignut-7-6-mln-t-v-2022-godu/>. [In Russian].
7. Pershi pidsumky diyal'nosti metalurhiv Ukrainy u 2022 rotsi. [The first results of the activity of metallurgists of Ukraine in 2022.] Available from: www.gmk.center. <https://dia.dp.gov.ua/pershi-pidsumki-diyalnosti-metalurgiv-ukra%D1%97ni-u-2022-roci/>. [In Ukrainian].
8. Bolshakov V. I., Tuboltsev L. G. Chorna metalurhiya i natsional'na bezpeka Ukrainy. [Ferrous metallurgy and national security of Ukraine]. *Visnyk Natsional'noyi akademiyi nauk Ukrainy*. [Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine], 2014, 9. 48-58.
9. Kolisnichenko V. Dystryb'yutory stali v YES zaklykayut' vyrobnykiv skorochuvaty potuzhnosti. [Steel distributors in the EU are calling on producers to cut capacity.]. Available from: <https://gmk.center/ua/news/distrib-jutori-stali-v-ies-zaklikajut-virobnikiv-skorochuvaty-potuzhnosti/>. [In Ukrainian]
10. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Integrated Pollution Prevention and Control. 2013. Available from: <http://eippeb.jrc.es>. [In English]
11. Babachenko O. I., Tuboltsev L. G., Merkulov O. E. Perspektyvy dekarbonizatsiyi metalurhiynykh tekhnolohiy. [Perspectives of decarbonization of metallurgical technologies.]. *Fundamental'ni ta prykladni problemy chornoyi metalurhiyi*. [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy]. 2021. Collection 35. P. 3-29. [In English, In Ukrainian]. DOI: 10.52150/2522-9117-2021-35-3-29.
12. Loktev V. Zhodni zminy nemozhlyvi, yakshcho yim oprayet'sya bil'shist'. [No changes are possible if the majority resists them]. *SVIT. Vseukrayins'ka hazeta dlya naukovtsiv ta osvityan*, 43-44 (1223-1224), listopad 2022.

O. I. Babachenko, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0001-7501-4173
L. G. Tuboltsev, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0001-9540-3037
O. Ye. Merkulov, D. Sc. (Tech.), Senior Research, ORCID 0000-0002-7867-0659
G. V. Levchenko, D. Sc. (Tech.), Professor, ORCID 0000-0003-1173-5320

Iron and Steel Institute of Z. I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine

SCIENTIFIC AND TECHNICAL SUPPORT OF THE CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF BLACK METALLURGY OF UKRAINE

Summary. The article examines the prospects of scientific and technical support for the development of ferrous metallurgical Ukraine, taking into account the consequences of the military aggression of the Russian Federation. On the basis of a comprehensive analysis of the current state of the industry, the possibilities of implementing modern and promising technologies of metallurgical production have been determined in accordance with the proposed project "Concept of sustainable development of ferrous metallurgy of Ukraine". Possible scenarios and stages of development of ferrous metallurgy were discussed, priority directions for the near, medium and long term were determined. It was emphasized that the development of the ferrous metallurgical and mining and metallurgical complex of Ukraine as a whole should be connected with the implementation of the best available technologies (Best Available Techniques), conducting promising scientific research and implementing systematic scientific and technical support of production. The priority areas of development of sub-sectors of the metallurgical industry are considered. Prospective ways of improving technologies for all main metallurgical processes are proposed. It was noted that along with the improvement of the process of obtaining iron in blast furnaces, it is expedient to develop off-blast production using raw materials available in Ukraine. Progress in steelmaking is, first of all, due to the improvement of modern oxygen-converter and electric steelmaking technologies. It was established that rolling production needs modernization of industrial equipment and an increase in the range of metal products. It is shown that the decarbonization of steel production should become a promising direction for the development of the metallurgical industry and one of the means of solving environmental problems. Target indicators of sustainable development and effectiveness of scientific and technical support of the metallurgical industry in the perspective of 2050 have been determined. The successful solution of the tasks and the implementation of the future development directions defined by the Concept will allow the metallurgical industry to firmly establish itself on the trajectory of sustainable growth and provide Ukraine with one of the competitive advantages in the international arena.

Key words: ferrous metallurgy, mining and metallurgical complex of Ukraine, perspective, Concept, technologies, scientific and technical support

For citation: Babachenko O. I., Tuboltsev L. G. Merkulov O. Ye., Levchenko G. V. Naukovo-tekhniche suprovodzhennia Kontseptsii staloho rozvytku chornoj metalurhii Ukrainy [Scientific and technical support of the Concept of sustainable development of black metallurgy of Ukraine]. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*. 2022. Collection 36. P. 4-20. [In Ukrainian]. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-4-20.

*Стаття надійшла до редакції збірника 11.10.2022 р.
Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 5 від 20.12.2022 р.)*

*"Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії". 2022. Випуск 36
"Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy". 2022. Collection 36*