

НАУКОВІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ БАЛАНСІВ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy, 2021, 2(65): 44–52
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2021.02.044>

УДК 620.9.003:621.31

Г.О. КУЦ, канд. техн. наук, ст. наук. співр., ORCID: 0000-0002-1311-8361

О.І. ТЕСЛЕНКО, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0002-3772-5991

Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 031150, Україна

ПРОГНОЗНА ОЦІНКА ПОВНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПРОДУКЦІЇ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ УКРАЇНИ ЗА ВИРОБНИЧИМИ СХЕМАМИ ДО 2040 РОКУ

Розглянуто перспективний розвиток чорної металургії України на період до 2040 р. Цей розвиток буде відбуватись за рахунок структурних змін виробничих схем та технологічних заходів з більш ефективними характеристиками енергоресурсів, енергоносіїв та сировини, які формують енергоємність металургійної продукції. З внесенням доповнень до діючих методик визначення повної енергоємності виробництва продукції було проведено розрахунки повної технологічної енергоємності продукції чорної металургії, як найбільш енергоємної та багато продуктової галузі економіки країни. Порівняно показники повної технологічної енергоємності продукції чорної металургії за базовим 2017 р. та аналогічні прогностичні показники в 2040 р. Порівняння показників повної технологічної енергоємності кінцевої продукції чорної металургії (прокату) показали, що прокат, вироблений за новітніми технологічними системами, які заплановано до впровадження на прогностований 2040 р., буде мати повну технологічну енергоємність до 20% меншу за аналогічний показник прокату за технологічними схемами, задіяними в базовому 2017 р.

К л ю ч о в і с л о в а: технологічна енергоємність, структурні зміни, технологічні заходи, енергоресурси, сировина, чавун, сталь, прокат.

Україна є провідним виробником та експортером сталі в світі: частка країни у загальносвітовому виробництві сталі складає ~2%. У 2013 р. в Україні виготовили 32,8 млн т сталі (10 місце в світовому рейтингу виробників сталі) та експортували 24,7 млн т (5 місце в світовому рейтингу експортерів сталі). У 2019 р. обсяги виробництва сталі в Україні знизилися до 20,6 млн т (12 місце серед виробників), а обсяг експорту становив 15,2 млн т (9 місце серед експортерів), виробництво чавуну складало 20,064 млн т (10 місце серед виробників) [1].

Вагоме значення металургійної промисловості України обумовлене багатьма факторами, що визначають її провідні позиції та роль в економіці країни: галузь забезпечує ~20% ВВП країни та до 25–30% усіх валютних надходжень; частка металургійної галузі в основних фондах промисловості становить близько 14%; чисельність працюючих – близько 10% від загальної кількості робітників, що зайняті у промисловості; до най-

більших підприємств відносяться 19 металургійних підприємств, 12 трубних заводів, більше 20 метизних підприємств, а також понад 100 підприємств з переробки металобрухту та відходів [2].

Металургійна промисловість України є одна з небагатьох у світі, яка базується на значних власних сировинних ресурсах: залізній (31,4 млрд т або 15% відносно світових запасів) і марганцевій (2,35 млрд. т або 42,8%) рудах, вугіллі (7,5%), нерудній металургійній сировині (кварцити, флюсові вапняки і доломіти). Частка коксівного вугілля складає 31,1% загальних запасів кам'яного вугілля, які досягають 43,4 млрд т. На поточний час в Україні у значних обсягах видобуваються кам'яне вугілля (1,5% світового видобутку), товарні залізни (4,5%) та марганцеві (9%) руди [3]. У період 2010–2019 рр. щорічний видобуток металургійної сировини у країні складав, млн т/рік: залізної руди від 152,7 (2018 р.) до 177,4 (2013 р.); марганцевих руд від 2,9 (2016 р.) до 4,8 (2010 р.); коксівного вугілля від 7,932 (2018 р.) до 23,984 (2012 р.) [4]. Ця обставина обумовила утворення в країні повного циклу металургійного виробництва: від видобу-

© Г.О. КУЦ, О.І. ТЕСЛЕНКО, 2021

вання та збагачення сировини, аглодоменного виробництва чавуну, сталеплавильного виробництва до виробництва кінцевого продукту – прокату, який є вихідним матеріалом для широкого спектру інших галузей економіки країни.

Аналізу стану технічного переоснащення, модернізації та впровадження новітніх технологій енергозбереження на підприємствах гірничо-металургійного комплексу України присвячено значна увага вітчизняних науковців [2, 5–7]. Поточний стан металургійних підприємств України визначається значною техніко-технологічною відсталістю та фізичною зношеністю, що обумовлює високу енергоємність виробництва сталі (в 1,2–1,4 рази перевищує даний показник провідних світових виробників сталі): галузь займає до 25% у загальному споживанні електроенергії країною і 25–35% у споживанні теплоенергії промисловістю. У період 2014–2019 рр. частка металургійної промисловості у загальному споживанні електроенергії (нетто) в Україні складала від 23,87% до 25,19% (~29 млрд кВт·год / рік), а у споживанні електроенергії промисловим сектором від 55,69% до 57,75% [8]. У собівартості металопродукції частка витрат на паливно-енергетичні ресурси з урахуванням вартості коксівного вугілля становить у середньому 30–40%, тоді як на металургійних підприємствах ЄС – приблизно 18–22% [9]. Технологічна структура виробництва сталі в Україні суттєво відстає від сучасних загальносвітових показників, особливо за рівнем використання енергоємних мартенівських печей і енергоефективного безперервного розливання сталі. За даними World Steel Association, частка безперервного розливання сталі в світі в 2018 р. досягла 96,4% (в 2008 р. складала 93,4%), а в Україні ці показники дорівнювали в 2018 р. 54,0%, що є майже вдвічі менше (в 2008 р. – 39,1%). За способами виробництва сталі спостерігається аналогічна ситуація: частка киснево-конверторного виробництва у світі в 2018 р. досягла 70,8%, а в Україні 69,7% (в 2008 р. складала 54,2%); частка електросталеплавильного способу у світі дорівнювала 28,8%, в Україні 7,5%, що є вчетверо менше (4,2%); мартенівського виробництва у світі менше 0,4%, в Україні 22,8%, або в 57 разів більше (41,1%); 92,5% сталі в країні виробляється з чавуну, отриманого за аглодоменною технологією [10].

За оцінкою Міжнародного енергетичного агентства (IEA), яке розробило дорожню карту технологічних змін у металургійній промисловості світу [11], до 2070 р. основною технологією виробництва сталі з залізорудної сировини стане технологія прямого відновлення заліза (ПВЗ) з використанням водню (до 41% загального виробництва сталі). Загалом технології ПВЗ будуть займа-

ти 55% у загальному обсязі виробництва сталі з використанням залізорудної сировини. Протягом 2050–2070 рр. майже подвоїться обсяг виробництва методом відновлювальної плавки з захопленням двоокису вуглецю (збільшиться до 30%). Таким чином у 2070 р. прогнозується виробництво сталі або з металобрухту, або з залізорудної сировини із використанням водню або з застосуванням технологій захоплення двоокису вуглецю. Виробництво сталі зросте приблизно з 1,9 Гт в 2019 р. до понад 2,5 Гт в 2050 р. До 2050 р. щорічне використання водню в металургії зросте до 16 млн т. У 2050 р. споживання енергії для виробництва сталі зменшиться на 14% щодо сьогоднішнього дня. До 2050 р. частки використання різних видів палива в металургії докорінно зміняться: споживання вугілля скоротиться на 40%, а споживання електроенергії подвоїться. 30% цієї електроенергії (або близько 700 ТВт · год) буде використано для виробництва електролітичного водню, що потребуватиме близько 165 ГВт електричної потужності електролізерів.

Для виробництва 1 т губчатого заліза в існуючих агрегатах прямого відновлення витрачається 1500 кг руди, 1200 кг вугілля, 420 кг флюсу і близько 600 м³ кисню. Для низьковуглецевого отримання 1 т губчатого заліза прямим відновленням з залізної руди необхідно витратити приблизно 1000 м³ водню. Однак використання технологій прямого відновлення заліза в умовах поточного стану та перспективного розвитку гірничо-металургійного комплексу України, який характеризується наявністю сталого потужного парку доменних печей, в перспективі на 15–20 років може мати обмежений характер [12]. Найбільш вірогідним напрямом технологічної модернізації металургійної промисловості України в перспективі до 2040 р. буде досягнення світових показників застосування новітніх апробованих технологій: безперервного розливання сталі в комплексі з удосконаленими технологіями аглодоменного виробництва чавуну та киснево – конверторним виробництвом сталі, а також електросталеплавильного виробництва з використанням металобрухту в умовах розвитку рециркулюючої економіки.

Аналіз поточного стану металургійної промисловості України дозволяє зробити висновок, що для забезпечення конкурентоздатності вітчизняних металургійних підприємств, насамперед, необхідно визначити напрями модернізації технологічної структури виробництва сталі із дослідженням впливу впровадження новітніх технологій на енергоємність металургійної продукції.

Визначенню енергоємності металургійної продукції при застосуванні кращих апробованих технологій в останні роки присвячено зна-

чний ряд досліджень вчених з США, Німеччини, Китаю, Японії, Росії, України та міжнародних організацій [13–22]. Однак в цих дослідженнях визначається енергоємність продуктів за окремими технологічними процесами загального металургійного виробництва без врахування супутніх енергетичних витрат на екологічні та енергозберігаючі заходи, відновлювальних виробничих потужностей та робочої сили, транспортування сировини, матеріалів та продукції, тощо. При розрахунку прогнозного споживання енергії металургійною промисловістю країни на перспективу необхідно визначити повну технологічну енергоємність продукції чорної металургії всього технологічного циклу: від заготівлі сировини до випуску кінцевого продукту – сталевих прокатів в умовах структурних змін виробничих потужностей металургійної галузі.

Метою досліджень є визначення повної технологічної енергоємності продукції чорної металургії на перспективу до 2040 р. для технологічних схем металургійного виробництва, які широко застосовуються на поточний час та будуть удосконалені шляхом структурних змін і впровадження енергоефективних технологічних заходів.

Металургійні підприємства з повним циклом відносяться до багатьох продуктивних енергоємних виробництв та мають різні технологічні схеми виробництва кінцевого продукту. Чорна металурія відноситься до провідних галузей економіки України і тому її перспективний розвиток має важливе значення у проведенні структурних змін технологічних процесів та впровадження енергоефективних технологічних заходів з метою зниження енергоємності кінцевого продукту.

Для визначення впливу на повну технологічну енергоємність продукції в даній статті було розглянуто п'ять структурних схем технологічних процесів, характерних для металургійних підприємств з повним технологічним циклом та схемами, які за останні роки поширено застосовуються в країнах з розвинутою машинобудівельною галуззю, промисловим і житловим будівництвом, суднобудівництвом та іншими.

Технологічні схеми на рис. 1 (а–в) включають: підприємства виробництва залізо-марганцевої руди та концентратів з них, агломераційні фабрики і виробництва окатишів, коксохімічні заводи, доменні печі, мартенівські печі, кисневі конвертори (зазвичай ці види виробництва сталі застосовуються сумісно), нагрівальні колодязі і нагрівальні печі, заготівельні і сортові прокатні стани та склади готової продукції.

Схеми на рис. 1 (г–д) включають технологічні процеси виробництва з використанням таких сталеплавильних агрегатів, як мартенівські печі

скрап-процесу, а частіше електродугові сталеплавильні печі (ДСП), машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), машини вогневого зачищення заготовок (МВЗ), прокатні стани і склади кінцевої продукції. Підприємства з зазначеними технологічними схемами спеціалізуються на виробництві продукції, яка є вихідною для підприємств машинобудування, суднобудування та інших галузей.

Перспективний розвиток чорної металургії України до 2040 р. буде проходити за структурними змінами технологічних процесів кінцевої продукції металургійного виробництва, а саме: прокат широкого асортименту і виробництва труб та застосування технологічних заходів, спрямованих на зміни якісних характеристик енергоресурсів, енергоносіїв, сировини та матеріалів з переходом на автоматизовані і комп'ютеризовані системи управління та контролю проходження технологічних процесів виробництва. За структурними змінами традиційні схеми технологічних процесів, (рис. 1, а, б) будуть замінені на схеми (рис. 1, в–д), в яких у технологічному ланцюжку буде застосоване сучасне високотехнологічне обладнання: піч-ківш, МБЛЗ, МВЗ та сортові прокатні стани з ліквідацією таких низькоенергоефективних ланок технологічного ланцюгу, як нагрівальні колодязі, заготівельні стани та нагрівальні печі.

Необхідно зазначити безпосередню залежність енергоємності сталі від частки чавуну у технологічному процесі її виробництва, а саме збільшення енергоємності сталі визначається в такій послідовності: електросталеплавильне виробництво, мартенівський скрап-процес і конвертерне виробництво. Це пов'язано із значно високою енергоємністю чавуну, порівняно з енергоємністю сталевих лому. Зниження витрат чавуну в металевій шихті сталі при будь-яких технологіях виробництва є основним джерелом потенційного зниження її енергоємності.

Разом із зазначеними структурними змінами в технологічних процесах виробництва металургійної продукції на прогнозований період до 2040 р. планується впровадження енергоефективних технологічних заходів на окремих етапах металургійного виробництва [23–27].

Виробництво агломерату:

- підвищення висоти шару шихти до 500 мм і комбіноване її нагрівання (економія палива до 12%);
- додаткове нагрівання верхнього шару шихти повітрям або продуктами згорання температурою нагрівання 620–950 °С (знижує витрати коксикку на 12 кг/т агломерату);
- нанесення палива та вапна на окомковану шихту агломерату (зниження витрат палива до 10%).

Виробництво окатишів:

- спалення природного газу в шарі шихти (зниження витрат палива на 11%);
- збільшення висоти шару окатишів до 500 мм (зниження витрат палива на 5%);
- використання в процесі згорання повітря нагрітого до 800–900 °С (зниження витрат природного газу на 12–15%).

Доменне виробництво.

У доменному виробництві планується до 2040 р. вийти на такі технологічні показники: вміст заліза у металізованій шихті до 61–62%, витрати коксу до 330–400 кг/т чавуну, норма вдування пиловид-

ного вугілля (ВПВ) до 160 кг/т замість використання природного газу в межах 110–120 м³/т чавуну, температура доменного дуття 1200–1250 °С з вмістом кисню до 30% (до 35 м³/т чавуну). Важливим для доменного виробництва є ефективна утилізація горючих і теплових вторинних енергоресурсів (ВЕР), які складають: горючих ВЕР у виді доменного газу до 24,2 кг у.п./т чавуну, теплових ВЕР до 4,7 кг у.п./т чавуну та надлишкового тиску доменного газу до 50–60 кВт·год/т чавуну при застосуванні газової утилізаційної безтискової турбіни (ГУБТ). Повну технологічну енергоемність чавуну, в основному, визначають енергоресурси

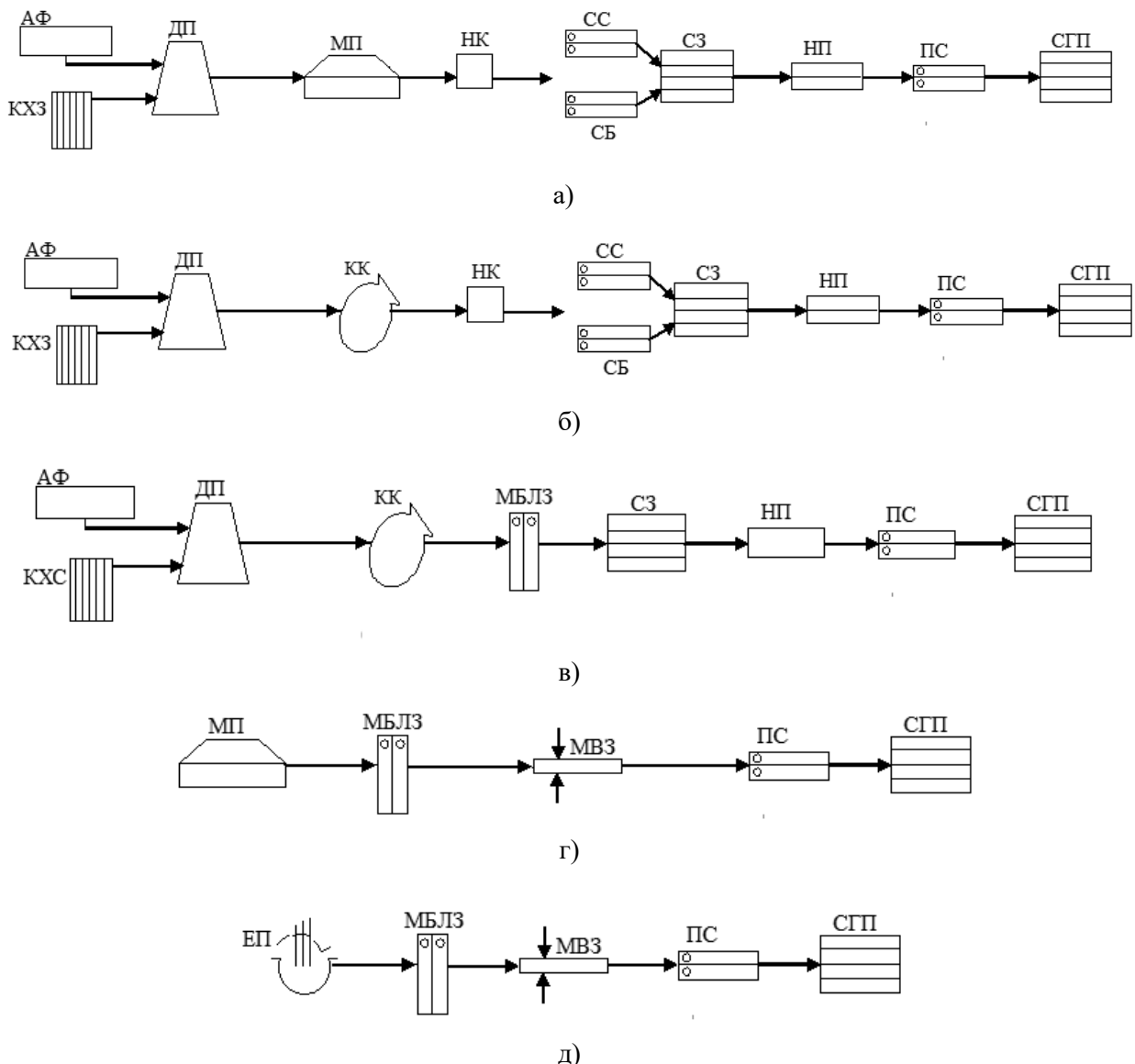


Рис. 1. Принципові схеми технологічних процесів металургійного виробництва: АФ – агломераційна фабрика, КХЗ – коксохімічний завод, ДП – доменна піч, МП – мартенівська піч, НК – нагрівальний колодязь, СС і СБ – прокатний стан слябів або блюмів, СЗ – склад заготовок, НП – нагрівальна піч, ПС прокатний стан, СГП – склад готової продукції, КК – кисневий конвертор, МБЛЗ – машина безперервного лиття заготовок, ЕП – електродіж, МВЗ – машина вогневого зачищення.

та сировина, частка яких в енергоємності складає 60 і 20% відповідно.

Киснево-конвертерне виробництво:

- застосування конвертерів з донним дуттям кисню надає можливість підвищити частку сталю скрапу (лому) до 50% в металевій шихті, але додатково зростають витрати палива і кисню;

- застосування печі-ковша для проведення рафінування (зростають витрати електроенергії і аргону);

- використання конвертерного газу і його фізичного тепла (утилізація хімічної і фізичної енергії конвертерного газу із застосуванням котла – охолоджувача конверторного газу (ОКГ) дозволяє додатково отримати теплової енергії до 0,215 Гкал/т сталі).

Мартенівський скрап-процес:

- підігрів повітря при спалюванні природного газу, організація теплового і аеродинамічного режиму печі (зниження витрат палива на 20–25 кг у.п./т сталі);

- застосування печі-ковша підвищує продуктивність мартенівської печі до 20% та забезпечує зниження витрат феросплавів на 20–30% (однак додатково потребує використання аргону і електроенергії).

Електросталеплавильне виробництво:

- підігрівання металевої шихти у нефутерованій цebinі до 400 °С, у футерованій – 800 °С (підігрів шихти на 100 °С знижує витрати електроенергії на 12–15 кВт·год/т сталі). Підігрів шихти на 200–250 °С може здійснюватися відхідними газами ДСП та використанням паливно-кисневих пальників з витратами кисню 7–10 м³/т сталі і природного газу 10–35 м³/т сталі;

- використання печі-ковша підвищує продуктивність ДСП вдвічі, знижує витрати феросплавів до 30% (додатково потребує витрати аргону і електроенергії).

Прокатне виробництво.

Згідно технологічних схем, прогнозованих на перспективні роки (2040 р.), не передбачається нагрівання зливків (заготівок) після МБЛЗ і МВЗ у нагрівальній печі, які застосовуються у діючих традиційних технологічних схемах. Тому при визначенні енергоємності прокату були враховані тільки витрати електроенергії на прокат блюмів або слябів.

Прогресивним методом усунення дефектів з поверхні заготівок МБЛЗ є вогнева зачистка. Дія МВЗ полягає в тому, що при вході блюма або сляба в робочий простір машини, де розташовані пальники починається процес оплавлення (спалювання) металу по всьому периметру профілю блюма або сляба. До пальників цієї машина надається паливна суміш природного газу та кисню

при наступних обсягах їх витрат: природного газу від 0,5 до 0,6 м³/т сталі, кисню – від 3 до 4 м³/т сталі. Видалення окалини з поверхні заготівок після вогневого зачищення здійснюється водою високого тиску з витратами 0,25–0,30 м³/т сталі.

Коксохімічне виробництво (паливна галузь):

- термічна підготовка вугільної шихти до 150–200 °С відхідними газами від коксових печей (зниження витрат палива на 6–8 кг у.п./ т коксу при нагріванні вугільної шихти на 100 °С);

- застосування автоматичної системи управління процесом згоряння палива при обігріві коксових печей (економія палива 1,5–2,0 кг у.п./т коксу;

- застосування установок сухого гасіння коксу (додаткове виробництво теплової енергії 0,270 Гкал/т коксу).

Видобуток залізної руди і виробництво концентрату (добувна галузь):

Заглиблення копалень видобутку залізної руди і підвищення відсотка заліза в концентраті до 55–58% потребують додаткові витрати електроенергії і технічної води. Зниження норми питомих витрат електроенергії в технологіях видобутку залізної руди і виготовлення концентрату безпосередньо будуть здійснюватися шляхом застосування енергоефективного гірничодобувного обладнання і транспортних засобів.

Розрахунки повної технологічної енергоємності продукції чорної металургії проводились за алгоритмами чинних методичних рекомендацій [28, 29] з внесенням до них доповнень, які дозволяють визначити розподіл енергоємності між окремими видами продукції багато продуктового металургійного виробництва та енергоємність захисту навколишнього середовища від викидів шкідливих речовин. При розрахунках використано програмний модуль наскрізного енергетичного аналізу, визначеного в структурованій формі [30]. Блок бази даних вихідної інформації програмного модуля було сформовано за показниками чинних в країні статистичних форм та збірників використання паливно-енергетичних ресурсів, енергоносіїв та сировини і матеріалів у технологічних процесах виробництва продукції чорної металургії [31–34].

Результати розрахунку повної технологічної енергоємності виробництва металургійної продукції та її складових з урахуванням використання вторинних енергоресурсів (ВЕР), витрат на внутрішнє транспортування, функціонування основних виробничих фондів (ОВФ), на відновлення робочої сили та на захист навколишнього середовища за базовий 2017 р. та прогнозний 2040 р. наведено в табл. 1 та табл. 2. Визначення енергоємності зазначених чинників проведено за показниками робіт [28, 29, 35].

Таблиця 1. Розрахункові дані складових повної технологічної енергоємності продукції чорної металургії, а також продукції добувної і паливної галузей (за базовий 2017 р.)

Складові продукції (енергоресурси, енергоносії, сировина, матеріали)	Складові повної технологічної енергоємності видів продукції, кг укл./т														
	залізна руда	концентрат залізної руди	доменний агломерат	окатиші	кокс доменний, коксовий газ	чавун доменний	мартенівський	киснево-конвертерний процес	мартенівський скрап-процес	електро-плавильний	Виробництво заготовок МБЛЗ	прокат (шоский гарячекатаний) зливків	прокат заготовок МБЛЗ	прокат заготовок МБЛЗ (скрап-процес)	прокат заготовок МБЛЗ (електро-процес)
1.Енергоресурси	31,648	34,423	68,842	60,623	210,488	742,439	141,108	39,100	285,564	214,148	15,834	166,225	58,083	58,083	58,083
2.Енергоносії	2,418	4,239	1,542	7,343	6,982	245,555	22,365	23,185	23,020	28,716	5,836	16,878	11,409	11,409	11,409
3.Сировина і матеріали		61,319	90,764	116,170	86,728	246,939	468,319	635,368	450,987	335,149	68,885	784,184	926,517	798,765	630,597
4.Енергоємність заготовок МБЛЗ													90,555	90,555	90,555
5.Повна технологічна енергоємність продукції за складовими 1-4	34,424	99,982	161,148	184,136	304,197	1234,933	631,792	697,654	759,571	578,013	90,555	881,997	859,391	836,391	732,850
6.Повна технологічна енергоємність продукції з урахуванням використання ВЕР	34,424	99,982	140,408	184,136	276,647	997,291	582,412	665,716	710,191	545,199	90,555	851,419	843,754	820,962	717,213
7.Енергоємність складових, використання:															
- транспортування	0,034	0,100	0,140	0,184	0,276	0,997	0,582	0,665	0,710	0,545	0,090	0,80	0,840	0,820	0,717
- ОВФ	1,033	2,999	4,200	5,520	8,299	29,918	17,472	19,950	21,306	16,356	2,716	25,531	25,290	24,600	20,533
- робочої сила	6,880	21,349	19,600	25,760	43,627	211,425	81,536	93,198	99,400	76,328	12,677	170,200	168,600	164,180	136,890
- захисту навколишнього середовища	0,070	0,199	0,280	0,368	0,553	1,995	1,165	1,331	1,420	1,090	0,180	1,703	1,687	1,012	1,434
8.Повна технологічна енергоємність продукції	42,441	124,629	164,628	215,968	329,400 окремо: кокс 239,799 коксовий газ 38,210 хімічні продукти 50,391	1239,631 окремо: чавун 845,402 шлак 394,229	683,167	780,860	833,026	639,518	106,218	1049,569	1040,171	1012,202	876,787

Таблиця 2. Прогнозні розрахункові дані складових повної технологічної енергоємності продукції чорної металургії, а також продукції добувної і паливної галузей (на 2040 р.)

Складові продукції (енергоресурси, енергоносії, сировина і матеріали)	Складові повної технологічної енергоємності видів продукції, кг у.п./т														
	залізна руда	концентрат залізної руди	доменний агломерат	окатиші	доменний кокс	чавунний доменний	Виробництво сталі (процес)			Виробництво заготовок на МБЛЗ і МВЗ	Прокат заготовок МБЛЗ із				
							киснево- конвертерна сталь	скрап-процесу сталь	електросталь		киснево- конвертерна сталь	сталь скрап-процесу	електросталь		
1. Енергоресурси	28,332	30,150	67,381	58,170	179,406	660,930	113,880	255,104	184,563	15,214	50,551	50,551	50,551	50,551	50,551
2. Енергоносії	4,535	2,893	1,015	3,991	6,294	212,097	22,704	20,826	17,911	2,454	4,676	4,676	4,676	4,676	4,676
3. Сировина і матеріали		59,160	89,360	99,652	75,480	224,167	412,535	371,016	251,685	69,185	574,475	625,717	625,717	625,717	625,717
4. Енергоємність заготовок МБЛЗ і ВЗЗ										86,853	86,853	86,853	86,853	86,853	86,853
5. Повна технологічна енергоємність продукції за складовими 1–4	32,867	92,203	157,756	161,813	262,180	1097,194	549,119	646,946	454,159		716,555	767,797	767,797	767,797	584,492
6. Повна технологічна енергоємність продукції з урахуванням використання ВЕР			137,756		238,480	860,145	516,654	595,921	421,345						
7. Енергоємність складових, використання:															
- транспортування	0,033	0,092	0,137	0,161	0,238	0,860	0,516	0,596	0,421	0,087	0,716	0,767	0,767	0,767	0,584
- ОВФ	0,986	2,766	4,13	4,854	7,154	25,804	15,500	17,880	12,630	2,604	1,722	1,875	1,875	1,875	1,326
- робочої сили	6,880	21,349	27,55	32,36	37,608	182,351	77,400	119,180	84,260	17,360	143,300	153,560	153,560	153,560	116,890
- захисту навколишнього середовища	0,065	0,184	0,413	0,425	0,715	2,580	1,550	1,788	1,264	0,260					
8. Повна технологічна енергоємність продукції	40,533	115,977	171,356	201,135	284,195 окремо: кокс 207,225 коковий газ 32,542 хімічні продукти 44,428	1071,740 окремо: чавун 730,920 шлак 340,820	611,627	735,365	519,920	107,101	862,293	923,999	923,999	923,999	703,292

Заданими табл. 1 та 2 повна технологічна енергоємність кінцевої продукції чорної металургії – прокату складає, кг у.п./т: в базовому 2017 р. прокат зливків мартенівської сталі – 1049,569; прокат заготовок МБЛЗ з киснево-конверторної сталі 1040,171; мартенівської скрап-процесу – 1012,202 і електродугової – 876,787. Показники за прогнозний 2040 р. в кг у.п./т прокату заготовок МБЛЗ з використанням МВЗ: з киснево-конверторної сталі 862,293, мартенівської сталі скрап - процесу – 923,999, електродугової сталі – 703,292.

Порівняння показників повної технологічної ємності кінцевої продукції (прокату) прогнозного 2040 р. з базовим 2017 р. показує, що в результаті структурних змін і впровадження технологічних енергоефективних заходів, можливе зниження цього показника, а саме для прокату заготовок із киснево-конверторної сталі на 17,2% (за фізичним обсягом в прогнозному 2040 р. – 862,293 кг у.п./т порівняно з базовим 2017 р. – 1042,044 кг у.п./т), сталі скрап-процесу – 8,9% (відповідно 923,999 кг у.п./т і 1014,120 кг у.п./т) і електродугової сталі – 20% (703,292 кг у.п./т і 878,913 кг у.п./т). Для коксохімічного виробництва зниження енергоємності складає: для коксу 24,0% (в прогнозному 2040 р. – 210,040 кг у.п./т, а у базовому 2017 р. – 244,585 кг у.п./т), коксового газу – 16,4% (відповідно 33,468 кг у.п./т і 38,972 кг у.п./т).

За показниками табл. 1 та 2 проведено аналіз визначення ролі складових у формуванні енергоємності продукції, а саме для таких видів продукції, як залізна руда, кокс доменний, коксовий газ і чавун переробний. До основних складових відносяться енергоресурси, частка яких в енергоємності продукції складає від 60 до 90%, а для інших видів продукції це є сировиною, частки якої знаходяться у тих же межах. Основною складовою в структурі формування повної технологічної енергоємності прокату є вихідна енергоємність сировини, значення якої знаходиться в межах 90–92%.

ВИСНОВКИ

Визначення повної технології енергоємності продукції чорної металургії проведено для п'яти технологічних схем виробництва, які широко застосовуються на поточний час, так і з проведенням їх відповідного удосконалення на перспективу до 2040 р. шляхом структурних змін і впровадження енергоефективних технологічних заходів. При визначенні повної технологічної енергоємності металургійної продукції було враховані складові використання вторинних енергоресурсів, витрати енергії на внутрішнє транспортування, функціонування основних виробничих

фондів, відновлення виробничої сили та на проведення захисту навколишнього середовища від забруднюючих викидів.

Порівняння показників повної технологічної енергоємності кінцевої продукції чорної металургії (прокату) показали, що прокат вироблений за новітніми технологічними системами, які заплановано до впровадження на прогнозований 2040 р. буде мати повну технологічну енергоємність до 20% меншу за аналогічний показник прокату за технологічними схемами, задіяними в базовому 2017 р.

1. Steel Statistical Yearbook (2010 – 2019). *World Steel Association*. URL: <https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook.html> (дата звернення: 06.04.2021).

2. Амоша А.И., Большаков В.И., Минаев А.А., Залознова Ю.С., Збаразская Л.А., Макогон Ю.В. и др. Украинская металлургия: современные вызовы и перспективы развития: моногр. НАН Украины, Ин-т экономики промышленности. Донецк, 2013. 114 с.

3. Третьяков Ю.И., Субботін А.Г., Полуніна Г.В., Корпан Н.В. та ін. Мінеральні ресурси України та світу. Київ: Державне науково-виробниче підприємство «Геоінформ України». 2009. 602 с.

4. Мінеральні ресурси України: щорічник. За ред. Примушко С.І. Київ: Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України». 2020. 270 с. URL: www.geoinform.kiev.ua (дата звернення: 12.04.2021).

5. Хижняк О.С. Сучасний стан металургійних підприємств України: проблеми і перспективи розвитку. *Молодий вчений*. 2017. № 5. С. 762—768. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv_2017_5_172 (дата звернення: 10.04.2021).

6. Майорченко В.Н., Романенко А.А., Сиротенко А.Н. и др. Анализ состояния технического переоснащения, модернизации и внедрения новейших технологий энергосбережения на предприятиях ГМК Украины. *Горнорудная и металлургическая промышленность*. 2010. № 4. С. 131—134.

7. Логутова Т.Г., Полторацька О.В., Полторацький М.М. Проблеми ресурсозбереження металургійних підприємств: теоретичні та практичні аспекти: Монографія. Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2016. 328 с.

8. Структура споживання електроенергії по Україні за групами споживачів. Передача і диспетчеризація. Диспетчерська інформація. Електроспоживання. *Національна енергетична компанія «УКРЕНЕРГО»*. URL: <https://ua.energy/peredacha-i-dyspetcheryzatsiya/dyspetcherska-informatsiya/elektrospozhyvannya/> (дата звернення: 07.04.2021).

9. Нікіфорова В. Економічний огляд металургійної галузі України. *РЕЙТИНГ. Бізнес в офіційних цифрах*. 2019. Вип. 3. URL: <https://rating.zone/ekonomichnyj-ohliad-metalurhijnoi-haluzi-ukrainy/> (дата звернення: 07.04.2021).

10. Steel Statistical Yearbook (2008–2018). *World Steel Association*. <https://www.worldsteel.org> (дата звернення: 06.04.2021).

11. Iron and Steel Technology Roadmap. Towards more sustainable steelmaking. *International Energy Agency (IEA)*. 2020. 190 p. www.iea.org (дата звернення 06.04.2021).
12. Большаков В.И., Тубольцев Л.Г. Состояние и перспективы развития черной металлургии Украины в условиях кризиса. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. Днепропетровськ: ІЧМ НАН України, 2009. Вип. 19. С. 3—12.
13. World steel association. Global steel industry: outlook, challenges and opportunities. *5th International Steel Industry & Sector Relations Conference. Istanbul. April 20, 2017*. URL: https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:d9e6a3df-ff19-47ff-9e8f-f8c136429fc4/International+Steel+Industry+and+Sector+Relations+Conference+Istanbul_170420.pdf (дата звернення: 06.04.2021).
14. Energy consumption trends in EU. URL: <https://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-by-sector/industry/industry-eu.pdf> (дата звернення: 06.04.2021).
15. Scrap-based production and gas-based direct reduced iron production need to increase by 2030 to get on track with the SDS. Iron and steel. Tracking report. *IEA*. 2020. URL: <https://www.iea.org/reports/iron-and-steel> (дата звернення: 07.04.2021).
16. Kun He, Li Wang, Xiaoyan Li. Review of the Energy Consumption and Production Structure of China's Steel Industry: Current Situation and Future Development. *Metals*. 2020, 10(3), 302. <https://doi.org/10.3390/met10030302> (дата звернення: 07.04.2021).
17. Takahiro Oki, Hugo Salamanca. Driving energy efficiency in heavy industries. Global energy efficiency benchmarking in cement, iron & steel. *IEA*. March 2021. URL: <https://www.iea.org/articles/driving-energy-efficiency-in-heavy-industries> (дата звернення: 07.04.2021).
18. Horvath L. Energy use in the steel industry. *World Steel Association. IEAGHG/IETS Iron & Steel Industry CCUS and Process Integration Workshop 5th–7th November 2013, Tokyo, Japan*. URL: https://ieaghg.org/docs/General_Docs/Iron%20and%20Steel%20%20Secured%20presentations/1620%20Ladislav%20Horvath.pdf (дата звернення: 06.04.2021).
19. Otto A., Robinius M., Grube T. Power-to-Steel: Reducing CO₂ through the Integration of Renewable Energy and Hydrogen into the German Steel Industry. *Energies*. 2017, 10(4), 451. <https://doi.org/10.3390/en10040451> (дата звернення: 07.04.2021).
20. Станиціна В.В. Енергоємність заходів з охорони навколишнього середовища як складова повної енергоємності продукції. *Проблеми загальної енергетики*. 2011. Вип. 4(27). С. 47—52.
21. Лисиенко В.Г. Чесноков Ю.Н., Лаптева А.В. Энергоёмкость и эмиссия CO₂ различных сочетаний переделов при производстве стали. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2014. № 6. С. 105—111.
22. Грищенко С.Г., Сталинский Д.В., Литвиненко В.Г. Применение метода сквозной энергоёмкости для анализа затрат энергоресурсов ГМК. *Горнорудная и металлургическая промышленность*. 2009. № 1. С. 110—114.
23. Stubbles John. Energy use in the U.S. steel industry: an historical perspective and future opportunities. U.S. Department of Energy Office of Industrial Technologies Washington, DC. September 2000. URL: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/11/f4/steel_energy_use.pdf (дата звернення: 08.04.2021).
24. Кагаев А.А. Опыт и перспективы энергосбережения ресурсоемких предприятий горно-металлургического комплекса Украины. *Экономика Украины*. 2013. № 9(614). С. 18—29.
25. Energy Trends in Selected Manufacturing Sectors: Opportunities and Challenges for Environmentally Preferable Energy Outcomes. U.S. Environmental Protection Agency. March 2007. URL: <https://archive.epa.gov/sectors/web/pdf/ch3-6.pdf> (дата звернення: 08.04.2021).
26. ДСТУ 4370:2011 Енергозбереження. Коксохімічне виробництво. Ресурси енергетичні вторинні. Методика визначення показників виходу та використання. [На заміну ДСТУ 4370:2005, чинний від 2011-07-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2012. 93 с. (Національний стандарт України).
27. ДСТУ 4369:2005 Енергозбереження. Чорна металургія. Ресурси енергетичні вторинні. Методика визначення показників виходу та використання. [Чинний від 2006-01-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2006. 24 с. (Національний стандарт України).
28. Гнідой М.В., Куц Г.О., Терещук Д.А. Метод розрахунку повних енергетичних витрат на виробництво продукції. *Екотехнології и ресурсосбережение*. 1997. № 5. С. 67—72.
29. ДСТУ 3682-98 (ГОСТ 30583-98) Енергозбереження Методика визначення повної енергоємності продукції робіт, послуг. Держстандарт України. 1998. 11 с.
30. Лисиенко Н.Г., Щелоков Я.Л., Розин С.Е., Дружинина О.Г, Пареньков А.Е. Энергетический анализ, методика и базовое информационное обеспечение. Екатеринбург: Изд.УГТИ–УПИ, 2008. 97 с.
31. Маляренко О.Є., Станиціна В.В., Куц Г.О. Прогнозування попиту на паливо-енергетичні ресурси для енергоємних видів продукції з урахуванням потенціалу енергозбереження до 2040 р. *Проблеми загальної енергетики*. 2019. № 2(57). С. 13—20. <https://doi.org/10.15407/pge2019.02.013>
32. Статистична форма № 4 – МТП (річна). Звіт про використання та запаси палива. Держкомстат України за 2015-2018 роки.
33. Статистична форма № 11 – МТП (річна). Звіт про постачання та витрати енергії. Держкомстат України за 2016-2018 роки.
34. Паливо-енергетичні ресурси: статистичний збірник. К.: Держкомстат України, 2016. 158 с.
35. Станиціна В.В. Розвиток методу повної енергоємності для визначення показників енергетичної ефективності та потенціалів енергозбереження. Автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук: спец. 05.14.01 «Енергетичні системи та комплекси». К.: Інститут загальної енергетики НАН України, 2016. 20 с.

Надійшла до редколегії: 15.04.2021