

<https://doi.org/10.1098/rsta.1970.0037>.

7. Ahmed H. *Magmatic (Orthomagmatic) Deposits (Ore Deposits Associated with Mafic-Ultramafic Complexes)*. In: Mineral Deposits and Occurrences in the Arabian–Nubian Shield. 2022. 512 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-96443-6_3.

Рецензент: В.Й. Засельський,
д-р техн. наук, проф., ННТІ ДУЕТ

Стаття надійшла 08.03.2023

Стаття прийнята 30.04.2023

УДК 669.09.26

doi: 10.31498/2225-6733.46.2023.288176

© Руських В.П.¹, Хавалиць Ю.В.²

ПРО ПЕРЕХІД НА ВОДНЕВУ МЕТАЛУРГІЮ

У статті показано, що зміна клімату це не лише потепління, а й надзвичайні природні явища (посухи, повені, штори, смерчі), що призводять до значної економічної шкоди. Потепління клімату спричинене підвищенням концентрації парникових газів в атмосфері Землі. Основним завданням є зниження викидів у довкілля діоксиду вуглецю. Здійснено аналіз міжнародних документів, таких як Кіотський протокол, Паризька кліматична угода, спрямована на скорочення викидів парникових газів в атмосферу. Показано, що значна кількість CO₂ надходить в атмосферу при виробництві чавуну та сталі, наведено дані про кількість викидів діоксиду вуглецю при виплавці сталі в Україні та на металургійному комбінаті «Азовсталь». Зроблено критичний аналіз існуючої технології виробництва сталі, що відрізняється високою ефективністю, але потребує значних капітальних вкладень, паливних та енергетичних ресурсів, джерелом яких є продукт термічної обробки кам'яного вугілля – кокс, вуглець якого у вигляді CO₂ надходить в атмосферу. Розглянуто численні запропоновані способи виробництва сталі без використання цього коксу. Одним із напрямків є виробництво губчастого заліза без плавлення, іншим напрямком безкоксової металургії є високотемпературні процеси одержання рідкого металу, що здійснюються в одну стадію. Визначено теоретично необхідну кількість відновлювача при відновленні заліза оксидом вуглецю та воднем. Розглянуто способи отримання відновлювального газу шляхом конверсії природного газу та газифікації кам'яного вугілля. Показано плани керівництва Групи Метінвест щодо розробки довгострокової технологічної стратегії металургійного виробництва з урахуванням екологічних вимог.

Ключові слова: зміна клімату, парниковий газ, вуглекислий газ, безкоксова металургія, декарбонізація, губчасте залізо.

V.P. Russkikh, Yu.V. Khavalits. On transition to hydrogen metallurgy. The article shows that climate change is not only warming, but also extraordinary natural phenomena (droughts, floods, storms, tornadoes etc), which lead to significant economic damage. Climate warming is caused by increasing concentrations of greenhouse gases in the earth's atmosphere. The main task is to reduce carbon dioxide emissions. An analysis has been carried out of international documents such as the Kyoto Protocol, the Paris Climate Agreement, aimed at reducing greenhouse gas emissions into the atmosphere. It is shown

¹ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-9711-2599, russkikh_v_p@ukr.net, дата смерті – 7.04.2023 р.

² науковий співробітник, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, uliyva1981havalic@gmail.com

that a significant amount of CO₂ enters the atmosphere during the production of pig iron and steel, the data on the amount of carbon dioxide emissions from steel smelting in Ukraine and at «Azovsteel» iron and steel works have been provided. The article contains a critical analysis of the existing steel production technology, which is highly efficient but requires significant capital investment, fuel and energy resources, the source of which is the product of heat treatment of hard coal – coke, its carbon in the form of CO₂ entering the atmosphere. Numerous proposed methods of steel production without the use of this coke are considered. One of the directions was the production of sponge iron without melting, another direction of coke-free metallurgy was high-temperature processes of obtaining liquid metal, that are carried out in one stage. The theoretically required amount of reducing agent at of iron with carbon monoxide and hydrogen has been determined. Methods of producing renewable gas by conversion of natural gas and gasification of coal are considered. The plans of the Metinvest Group management to develop a long-term technological strategy for metallurgical production taking into account environmental requirements are presented.

Key words: *climate change, greenhouse gas, carbon dioxide, coke-free metallurgy, decarburization, sponge iron.*

Постановка проблеми. Клімат змінюється. Результатом цих змін є природні катаклізми, що впливають на життя людей та довколишній світ: це урагани, шторми, посухи, смерчі, цунамі, смерчі та ін. У всьому світі це стає частіше та глобальніше. В останні роки природні катаклізми почастишали настільки, що ігнорувати тему зміни клімату стало просто неможливо, а їх наслідки приносять значні економічні збитки. Президент США оцінив збитки від глобального потепління у 2021 році у 100 мільярдів доларів. За його словами, в штаті Нью-Джерсі за період з 2010 по 2020 роки відбулося 24 екстремальних погодних явищ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукові дослідження показали, що сучасне потепління відбувається через підвищення концентрації парникових газів в атмосфері Землі. До парникових газів відносять такі гази, як вуглекислий газ, метан, фторвуглеводні, окис азоту, гексафторид сірки. Основним завданням є зниження викидів в довкілля діоксиду вуглецю, утворення якого пов'язано насамперед з людською діяльністю: спалюванням викопного палива – нафти, вугілля та газу на електростанціях та в двигунах внутрішнього згоряння, у промисловості, скороченням площі лісів, розкладанням органічних відходів на звалищах та ін.

Вчені сходяться у думці, що для запобігання небезпечній зміні клімату недостатньо дій лише на рівні держави та бізнесу – необхідна участь людей та змін їх щоденних звичок. Для ефективного вирішення проблеми кліматичної кризи в розвинених країнах особистий вуглецевий слід необхідно скоротити на 80-90% до 2050 [1]. Кінцева мета країн ЄС є досягнення «кліматичної нейтральності», що передбачає скорочення викидів CO₂ в ЄС на 95% у порівнянні з рівнем 1990 р. Попит на природний газ в ЄС знизиться з ~ 5000 ТВт·год у 2020 р. до ~ 4000 ТВт·год у 2050 р. За даними МЕА, якщо додавати 20% водню у європейську газову мережу, то можна досягти скорочення викидів CO₂ на 60 млн. т щорічно [1]. Головна мета полягає в тому, щоб скоротити або зупинити викиди CO₂, а не знизити споживання енергії як таке [2-5].

У травні 1992 р. Організацією об'єднаних націй прийнято рамкову Конвенцію про зміну клімату. Відповідно до Конвенції було засновано Конференцію Сторін, що стала вищим органом конвенції. Саме цей орган на постійній та регулярній основі займається розгляданням питань з будь яких правових документів, що пов'язані із здійсненням Конвенції та можуть бути прийняті Конференцією Сторін. Конференція Сторін приймає необхідні для сприяння ефективному здійсненню рішення щодо Конвенції.

Київський протокол став першим міжнародним документом, міжнародною угодою, що була спрямована на скорочення викидів парникових газів у навколишнє середовище. 11 грудня 1997 року його було прийнято та за вісім років, а саме 16 лютого 2005 року, він набув чинності. Головною метою стала стабілізація рівня концентрації парникових газів у навколишньому середовищі на позначці, що не допускала би шкідливого та небезпечного антропогенного впливу на клімат нашої планети. Було встановлено квоту на максимально припустимий викид парникових газів для кожної країни. Якщо у якійсь країні стається випадок, що вона викидає парникових

газів більше виділеної їй квоти, то вона повинна «докупити» обсяг, якого не вистачає у тій державі, що викидає в атмосферу парникових газів менше виділеної квоти. Кіотський протокол являє собою першу глобальну угоду щодо охорони навколишнього середовища, яка заснована на своєрідному ринковому механізмі регулювання, тобто механізмі торгівлі різними країнами та державами квотами на викиди парникових газів.

Держави призначили собі кількісні зобов'язання на скорочення або обмеження викидів на період з 1 січня 2008 року до 31 грудня 2012 року. Метою цього було зниження у вказаний період сукупного середнього рівня викидів на 5,2% проти рівня 1990 року. Причому основні зобов'язання взяли на себе індустриальні країни, а країни, що розвиваються, зобов'язань на себе не брали. Також не брали зобов'язань на себе Китай та Індія. Серед індустриальних країн Євросоюз має скоротити викиди на 8%, США – на 7%, Японія та Канада – на 6%, країни Східної Європи – у середньому на 8%. Наша держава Україна мала зберегти середньорічні викиди у 2008-2012 роках на рівні 1990 року.

У 2015 році в рамках Конвенції ООН про зміну клімату 196 країн підписали окремий документ у рамках РКЗК ООН – Паризьку кліматичну угоду, згідно з якою всі країни, незалежно від рівня їх економічного розвитку, зобов'язалися скоротити викиди в атмосферу парникових газів. Можливість це зробити є, якщо всі країни світу відмовляться від викопного палива та перейдуть на 100% на відновлювану енергетику. Україна також є членом цієї угоди, вона також бере на себе ці зобов'язання.

Глобальні викиди парникових газів необхідно скорочувати на 7,6% щорічно в період між 2020 та 2030 роками, щоб досягти мети Паризької угоди – обмежити глобальне потепління в рамках 1,5°C. Україна за період з 1990 по 2019 роки скоротила викиди парникових газів до 332 млн. т.

Значна кількість CO₂ надходить в атмосферу внаслідок металургійного виробництва при виплавці чавуну та сталі. Наприклад, 2020 року в Україні було виплавлено 20,36 млн. т чавуну. На виплавку тонни чавуну загалом витрачається 500 кг умовного палива, що містить 80% вуглецю, тобто 400 кг вуглецю. На виплавку всього річного виробництва чавуну в Україні витрата вуглецю становитиме $20,36 \times 0,4 = 8,144$ млн. т. Весь цей вуглець при виробництві чавуну та сталі надходить в атмосферу у вигляді CO₂.

При окисленні вуглецю за реакцією $C + O_2 = CO_2$ на тонну вуглецю, що окислюється, утворюється 3,67 т вуглекислого газу. За річного виробництва чавуну в Україні 20,36 млн. т в атмосфері викидається 29,89 млн. т CO₂.

На металургійному комбінаті «Азовсталь» 2020 року було виплавлено 3,803 млн. т чавуну та 4,194 млн. т сталі. За такої ж витрати умовного палива на виплавку чавуну в атмосферу надійшло 5,58 млн. т вуглекислого газу, що становить 18,65% від загальної кількості, викинутого металургійними підприємствами України.

Не можна сказати, що працівниками металургійного комбінату «Азовсталь» не вживаються заходи щодо зниження викидів парникового газу. Так впровадження в доменному цеху комбінату результатів двох науково-дослідних робіт, виконаних ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» на замовлення металургійного комбінату «Азовсталь» [6], дозволило знизити викиди CO₂ в докілья на 53095 т/рік (0,95% від загальної кількості викидів комбінату) та знизити витрату повітря на виплавку чавуну на 67565 м³/рік.

Це, безумовно, не може вирішити проблему повного виключення викидів парникових газів та, за словами Д.І. Менделєєва, «прийде згодом знову час шукати способів прямого отримання заліза і сталі з руд, минаючи чавун».

Мета статті – розглянути особливості та доцільності переходу металургії на водневу технологію. Проаналізувати комплекс причин, пов'язаних з недоліками доменного процесу, складністю та суперечливістю існуючої схеми виробництва, а також необхідність підвищення якості сталі, що змушує металургів шукати шляхи позадоменного або «прямого» отримання заліза та сталі.

Виклад основного матеріалу. В даний час загальнопоширеною є двостадійна схема виробництва сталі, яка показала високу ефективність. Чавун, що виплавляється в доменних печах, рафінують у сталеплавильних процесах. Однак двостадійна схема складна, вимагає великих капітальних вкладень, паливних та енергетичних ресурсів, причому на першій стадії виробництва

в залізо переходить ряд елементів, які на другій стадії – при сталеплавильному процесі – треба видаляти. Крім того, в доменному виробництві основним джерелом теплової та відновлювальної енергії є продукт термічної обробки певних марок кам'яного вугілля – кокс. Це визначає необхідність створення нового відновлювального процесу, що здійснюється за умов, що виключають відновлення кремнію, марганцю, фосфору, науглецювання заліза та використання вуглецевмісних джерел енергії.

Ще задовго до розвитку цих методів Д.К. Черновим було проведено глибоке дослідження процесу первинного отримання заліза. Він проаналізував процес та дійшов висновку щодо можливості виплавки металу безпосередньо у доменній печі без використання для цього коксу [4]. Проте розвиток безкоксної металургії пішов іншим шляхом.

Одним з напрямів було виробництво губчастого заліза, тобто відновлення у твердій фазі. Воно здійснюється, як правило, у шахтних печах у протитечії шматкової шихти та відновлювального газу (способи Віберга, Пурофер, Мідрекс, Армко, ВНІМТ, комбінатів «Запоріжсталь», Білорецького та ін.) [7].

Іншим напрямком безкоксної металургії є високотемпературні процеси одержання рідкого металу, що здійснюються в одну стадію. До таких процесів відносяться Доред, Екеторп-Валлак, спосіб Буше, а також процес в киплячому шлаковому шарі. Одним з розроблених процесів цього типу є процес рідкофазного відновлення (РРВ) або – ROMELT (пізніша назва) [7, 8].

Таким чином, розвиток безкоксної металургії пішов шляхом поділу твердофазного і рідкофазного відновлення в окремі процеси, що здійснюються в різних агрегатах. При цьому продукт твердофазного відновлення призначений для розплавлення переважно в електроагрегатах, а одностадійних рідкофазних процесах відновлення ведеться в ендотермічному режимі при великих витратах тепла з отриманням рідкого металу.

Одержання губчастого заліза у великих обсягах при його відновленні газами вперше стало можливим у другій половині 50-х років ХХ століття, коли було споруджено першу установку фірми «Охалата та Ламіну» в Мексиці, так званого процесу «ХіЛ-1». Після цього з'явилося ще п'ять процесів, які змогли стати альтернативою для традиційної технології виробництва сталі: «Мідрекс», «Пурофер», «Армко», НСК («Ніхонстілкорп», Японія) та «ХіЛ-III» [9, 10].

Під час розробки цих процесів основним стимулом було прагнення отримувати залізо (сталь) без застосування коксу.

Спільним для технологічних процесів аналізованої групи є застосування газу для отримання відновлювального газу. Використовували три способи конверсії природного газу:

- парову: $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 3\text{H}_2$;
- вуглекислотну: $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$;
- кисневу: $\text{CH}_4 + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{CO} + 2\text{H}_2$.

Основною особливістю цих способів конверсії газу є різне співвідношення CO і H_2 в продуктах. При паровій конверсії – 25% CO та 75% H_2 , при вуглекислотній – 50 % і того й іншого, при кисневій конверсії – 33% CO та 67% H_2 .

Чистий водень на відновлення оксидів заліза використаний у процесі «Водень-залізо». Відновлення відбувається в киплячому шарі при температурі 480-540°C та надлишковому тиску 3,5 МПа. Вибір низької температури обґрунтований можливістю злипання частинок шихти, що відновлюються, при температурі вище 540°C, а високий тиск – бажанням збільшити швидкість відновлення при низьких температурах. Процес відрізняється низьким використанням відновлювальної здатності водню. Водень отримують при паровій або кисневої конверсії газу з наступним відмиванням вуглекислоти. Ступінь металізації губчастого заліза досягає 95-98%.

Проект установки для прямого отримання заліза на комбінаті «Запоріжсталь» було розроблено 1961 р. інститутом «Укргіпромет». Будівництво установки розпочато 1965 р. і закінчено 1966 р.

Установка призначалася для проведення дослідно-промислових випробувань та уточнення параметрів та показників технології виробництва губчастого заліза у шахтній печі за допомогою відновлювального газу, отриманого кисневою конверсією природного газу у газокисневому пальнику.

Продуктивність установки по металізованим окатишам змінювали від 50 до 100% проектною потужності. Високий вміст дрібниці у вихідних окатишах та їх низька міцність викликали

порушення роботи печі, що погіршувало фільтрацію газу через шар, газорозподіл і, як наслідок, надмірне підвищення температури, що супроводжується утворенням спеків. Під час роботи на окатишах без дрібниці спеки не утворювалися навіть за температури у зоні відновлення $\sim 1000^{\circ}\text{C}$.

За два роки до початку повномасштабної війни Група Метінвест розпочала розробку довгострокової технологічної стратегії з урахуванням екологічних викликів [11]. Метою розробки було запровадження найкращих світових методів та практик на власному виробництві. Група бачила технологічне майбутнє за електросталеплавильним процесом та використанням водневих технологій. Під час міжнародного форуму «Декарбонізація сталевих індустрій: виклик для України» генеральним директором було сказано: «Ми вивчаємо можливість будівництва єдиного комплексу, що складається з технології прямого відновлення заліза (DRI) та електрометалургійного виробництва для переробки гарячого DRI».

За словами Юрія Риженкова, поки що немає ясності щодо всіх технологій, які використовуватиме Група, та кількісних параметрів, але основні орієнтири виглядають так:

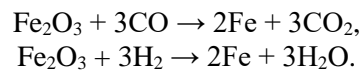
- впровадження нових технологічних виробництв у наступні 10 років, до 2030 року;
- суттєве зниження викидів CO_2 відповідно до технологічних бенчмаркінгів від світових виробників обладнання.

Планується підготовка залізородної сировини, кінцевим продуктом якої будуть окатиші DRI, металізація окатишів у шахтних печах з використанням гарячих відновлювальних газів, плавка металізованих окатишів в електросталеплавильних печах.

Відновлювальний газ доцільно отримувати паровою конверсією природного газу, при цьому він на 75% складається з водню та на 25% з CO .

При дефіциті природного газу або за високої ціни в Україні є можливість отримання відновлювального газу газифікацією вуглецю кам'яного вугілля: $\text{C} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + \text{H}_2$. У цьому випадку відновний газ містить 50% CO і стільки ж водню.

Теоретично необхідна кількість відновника при відновленні заліза оксидом вуглецю та воднем визначається з реакцій:



Звідси випливає, що для відновлення тонни заліза потрібно 0,75 т оксиду вуглецю чи 0,05 т водню. При ступені використання CO та H_2 у відновлювальному агрегаті на рівні 45%, маса відновників відповідно збільшується до 1,67 та 0,11 т/т заліза. Маса водню більш ніж у 15 разів менша за масу оксиду вуглецю. Отже, економічно доцільно як відновник використовувати водень, якщо його ціна буде не більш ніж у 15 разів вища за ціну оксиду вуглецю.

Висновки

1. Перехід чорної металургії на водневу технологію є обов'язковим. Водневі технології – основний засіб зменшення вуглецевого сліду в атмосфері.
2. Металізація отриманням окатишів DRI в шахтних печах, виплавка сталі в електропечах є однією з найбільш раціональних водневих технологій.
3. Газ для відновлення та металізації окатишів повинен містити якнайменше оксиду вуглецю. Саме це сприятиме зниженню викидів CO_2 в навколишній простір.
4. Використання водню як відновник економічно доцільно, якщо його ціна буде не більш ніж у 15 разів вищою за ціну оксиду вуглецю.

Перелік використаних джерел:

1. Шрайбер О.А., Дубровський В.В., Тесленко О.І. Сучасний стан і перспективи розвитку водневої енергетики у світі. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2021. Том 32, № 5. С. 199-209. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.5/30>.
2. Біла С.О. Інституційна підтримка міжнародного економічного співробітництва у сфері відновлюваної енергетики. *Економічний вісник університету*. 2018. Вип. 37/1. С. 267-275. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1220715>.
3. Біла С.О., Овчаренко К.Ю. Роль «зеленої енергетики» у забезпеченні міжнародної економічної безпеки. *Стратегія розвитку України*. 2019. № 1. С. 26-34.
4. Біла С.О., Захаров І.М. Стратегічні пріоритети міжнародного економічного співробітництва

- України та ЄС у сфері сталого розвитку. *Стратегія розвитку України*. 2017. № 2. С. 27-34.
5. Гура К.Ю., Петрук В.Г. Аналіз сучасних тенденцій декарбонізації та екомодернізації енергетики України і світу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021. № 5. С. 9-26. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-158-5-19-26>.
 6. Разработка мероприятий по повышению эффективности работы газового потока в ДП № «МК «Азовсталь» на основе балансовых методов анализа плавки: отчет НИР (договор № 41/0148Н/554 от 25.04.2019 г.). – Мариуполь. ДВНЗ «ПДТУ», 2019. – 98 с.
 7. Губін Г.В., Півень В.О. Сучасні промислові способи безкоксової металургії заліза. Кривий Ріг: ПП «Видавничий дім», 2010. 336 с.
 8. Kalle U., Pittel K., Steffen R. Development of sponge iron production throughout the world. *LKAB-DR pellet symposium*. Kiruna, 1979.
 9. Безкоксова металургія заліза / В.П. Іващенко, О.Г. Величко, В.С. Терещенко, В.А. Чеченев. Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2003. 336 с.
 10. Большаков В.И. Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки. Киев: Наукова думка, 2007. 411 с.
 11. «Метинвест» идет по пути декарбонизации и «зеленой» металлургии – гендиректор. URL: <https://ru.interfax.com.ua/news/greenddeal/751739.html>.

References:

1. Schreiber O.A., Dubrovskiy V.V., Teslenko O.I. The current state and prospects for the development of hydrogen energy in the world. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, 2021, vol. 32, № 5, pp. 199-209. doi: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.5/30>. (Ukr.)
2. Bila S.O. Institutional support of international economic cooperation in the field of renewable energy. *University economic bulletin*, 2018, iss. 37/1, pp. 267-275. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1220715>. (Ukr.)
3. Bila S.O., Ovcharenko K.Yu. The role of «green energy» in ensuring international economic security. *Strategy of development of Ukraine*, 2019, № 1, pp. 26-34. (Ukr.)
4. Bila S.O., Zakharov I.M. Strategic priorities of international economic cooperation of Ukraine and the EU in the sphere of sustainable development. *Strategy of development of Ukraine*, 2017, № 2, pp. 27-34. (Ukr.)
5. Hura K.Yu., Petruk V.G. Analysis of modern trends of decarbonization and eco-modernization of the energy sector of Ukraine and the world. *Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute*, 2021, № 5, pp. 9-26. doi: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-158-5-19-26>.
6. *Research report (contract No. 41/0148N/554 dated April 25, 2019). Development of measures to improve the efficiency of the gas flow in BF No. «МК «Azovstal» based on balance methods of analysis of the heat*. Mariupol, 2019. 98 p. (Rus.)
7. Gubin G.V., Piven V.O. *Modern industrial methods of coke-free metallurgy*. Kriviy Rig, PP «Vidavnychy dim» Publ., 2010. 336 p. (Rus.)
8. Kalle U., Pittel K., Steffen R. Development of sponge iron production throughout the world. *LKAB-DR pellet symposium*, Kiruna, 1979.
9. Ivashchenko V.P., Velichko O.G., Tereshchenko V.S., Chechenev V.A. *Non-coke metallurgy of the hall*. Dnipropetrovsk, RVA «Dnipro-VAL» Publ., 2003. 336 p. (Rus.)
10. Bolshakov V.I. *Technology of highly efficient energy-saving blast furnace melting*. Kyiv, Naukova dumka Publ., 2007. 411 p. (Rus.)
11. Metinvest is following the path of decarbonization and «green» metallurgy - CEO. Available at: <https://ru.interfax.com.ua/news/greenddeal/751739.html> (accessed 19 December 2022).

Рецензент: Л.І. Тарасюк,
канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 13.02.2023
Стаття прийнята 02.04.2023