



Стала економіка

УДК 33. 330. 4

DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.17706680>

Малі модульні реактори (ММР) як фактор підвищення енергетичної стійкості металургії України

Даценко Антон Миколайович,

аспірант кафедри економіки і туризму, Криворізький національний університет, навчально-науковий інститут економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, Україна, <https://orcid.org/0009-0007-4601-3172>

Прийнято: 08.11.2025 | Опубліковано: 24.11.2025

***Анотація.** У статті розкрито актуальність проблеми забезпечення енергетичної стійкості металургійної галузі України, яка є одним із ключових секторів національної економіки та водночас найбільш енергоємною. В умовах триваючої війни енергетична інфраструктура країни зазнає системних руйнувань, що призводить до перебоїв у постачанні електроенергії та зростання ризиків для стабільної роботи промислових підприємств. Металургійні комбінати, споживаючи значну частку національного енергетичного ресурсу, стають вразливими до коливань тарифів, дефіциту потужностей і порушення логістичних ланцюгів постачання енергоносіїв. Водночас, курс України на післявоєнне відновлення та інтеграцію в європейський енергетичний простір передбачає впровадження низьковуглецевих і безпечних технологій енергогенерації. У цьому контексті використання ММР постає перспективним напрямом зміцнення енергетичної автономності металургійних підприємств, забезпечення стабільності виробничих процесів та підвищення конкурентоспроможності української металургії на світовому ринку.*



Метою дослідження є обґрунтування доцільності впровадження ММР у енергозабезпечення металургійної галузі України як інноваційного інструменту підвищення її енергетичної стійкості в умовах війни та післявоєнного відновлення. Здійснено оцінку енергетичної структури металургійного виробництва, аналіз техніко-економічних характеристик ММР та порівняння їх ефективності з іншими джерелами енергії. Особлива увага приділяється потенціалу ММР для стабільного, безпечного й автономного енергопостачання підприємств, зниження залежності від імпорту енергоносіїв і формування основ сталого розвитку у контексті низьковуглецевої економіки.

Проаналізовано сучасний енергетичний стан металургійної галузі, що характеризується високою енергоємністю та залежністю від централізованого постачання. Найбільші витрати енергії припадають на виплавку чавуну, виробництво сталі та прокату. Виявлено високу залежність підприємств від теплової генерації та мінімальне використання відновлюваних джерел. Нестабільність електропостачання, руйнування інфраструктури та коливання цін на енергоносії створюють додаткові ризики, що підкреслює необхідність інтеграції ММР як надійного та технологічно стійкого джерела енергії.

Здійснено аналіз основних видів енергогенераційних потужностей у металургійній галузі та перспектив інтеграції ММР. Виявлено сильні сторони теплової генерації та відновлюваних джерел енергії — наявність інфраструктури та відносну доступність ресурсів. Слабкі сторони включають високу енергоємність виробництва, залежність від імпорту палива та нестабільність постачання під час війни. Можливості розвитку полягають у впровадженні ММР як автономного, безпечного та екологічного джерела, що знижує енергетичні витрати та підвищує стійкість виробничих процесів. Загрози включають нормативно-правові бар'єри, високі капітальні



інвестиції та технологічні ризики. Аналіз показав, що ММР мають конкурентні переваги щодо безпеки, автономності та стабільності постачання, що робить їх перспективними для металургії України.

Особлива увага приділяється залученню приватних інвестицій у проєкти ММР, що дозволяє знизити фінансове навантаження на державу, прискорити впровадження технології та забезпечити ефективне управління ресурсами. Державно-приватне партнерство створює умови для масштабування ММР, модернізації енергетичної інфраструктури, розвитку високотехнологічних виробництв і стимулювання економічного зростання галузі.

В результаті дослідження встановлено, що малі ММР високий потенціал для розвитку металургійної галузі України. Їх впровадження може стати стратегічним напрямом підвищення енергетичної автономності, конкурентоспроможності та сталого розвитку виробництва, забезпечуючи стабільне, безпечне й екологічно відповідальне енергопостачання металургійних підприємств.

Ключові слова: *малі модульні реактори, ММР, енергетична стійкість, металургійна галузь, енергопостачання, енергетична автономність, сталий розвиток.*

Small Modular Reactors (SMRs) as a Factor in Enhancing the Energy Resilience of Ukraine's Metallurgical Industry

Anton Datsenko,

Postgraduate student of the Department of economy and tourism, Mykhailo Tugan-Baranovsky Educational and Scientific Institute of Economics and Trade, Kryvyi Rih National University, Ukraine, <https://orcid.org/0009-0007-4601-3172>



Abstract. *The article highlights the relevance of ensuring the energy resilience of Ukraine's metallurgical industry, which is one of the key sectors of the national economy and at the same time highly energy-intensive. In the context of the ongoing war, the country's energy infrastructure suffers systemic damage, leading to interruptions in electricity supply and increased risks for the stable operation of industrial enterprises. Metallurgical plants, consuming a significant share of national energy resources, become vulnerable to tariff fluctuations, capacity shortages, and disruptions in energy supply chains. At the same time, Ukraine's course towards post-war recovery and integration into the European energy space implies the implementation of low-carbon and safe energy generation technologies. In this context, the use of small modular reactors (SMRs) appears as a promising direction to strengthen the energy autonomy of metallurgical enterprises, ensure stability of production processes, and increase the competitiveness of Ukrainian metallurgy in the global market.*

The aim of the study is to justify the feasibility of introducing SMRs into the energy supply system of Ukraine's metallurgical industry as an innovative tool to enhance its energy resilience under conditions of war and post-war recovery. The study includes an assessment of the energy structure of metallurgical production, an analysis of the technical, economic, and environmental characteristics of SMRs, and a comparison of their efficiency with other energy generation sources. Special attention is paid to the potential of SMRs to provide stable, safe, and autonomous energy supply, reduce dependence on imported energy, and lay the foundation for sustainable development in the context of a low-carbon economy.

The current energy profile of the metallurgical industry has been analyzed, characterized by high energy intensity and significant reliance on centralized energy supply. The largest energy consumption occurs in pig iron production, steelmaking, and rolling processes. A high dependence of enterprises on thermal generation and minimal use of renewable sources has been identified. Instability in electricity



supply, infrastructure damage, and energy price fluctuations create additional risks, highlighting the need to integrate SMRs as a reliable and technologically resilient energy source.

An analysis of main types of energy generation capacities in the metallurgical sector and the prospects for SMR integration was conducted. Strengths of thermal generation and renewable energy include established infrastructure and relative resource availability. Weaknesses involve high production energy intensity, dependence on imported fuel, and supply instability during wartime. Opportunities lie in the introduction of SMRs as autonomous, safe, and environmentally friendly energy sources, reducing energy costs and increasing process resilience. Threats include regulatory barriers, high capital investments, and technological risks. The analysis showed that SMRs have competitive advantages over traditional and renewable energy sources in terms of safety, autonomy, and supply stability, making them promising for Ukraine's metallurgy.

Special attention is given to attracting private investment in SMR projects, which can reduce the financial burden on the state, accelerate technology implementation, and ensure effective resource management. Public-private partnerships create conditions for scaling SMRs, modernizing energy infrastructure, developing high-tech production, and stimulating economic growth in the sector.

As a result of the study, SMRs are recognized to have high potential for the development of Ukraine's metallurgical industry. Their implementation can become a strategic direction for enhancing energy autonomy, competitiveness, and sustainable production development, ensuring stable, safe, and environmentally responsible energy supply for metallurgical enterprises.

Keywords: *Small modular reactors, SMRs, energy resilience, metallurgical industry, energy supply, energy autonomy, sustainable development.*



Постановка проблеми. Металургійна промисловість України є однією з провідних галузей економіки та одним із ключових секторів експорту країни. Вона забезпечує значну частку ВВП, робочих місць і валютних надходжень, а продукція українських металургійних підприємств користується попитом на внутрішньому та світовому ринках. Низька вартість енергоресурсів та електроенергії протягом попередніх років була одним із ключових факторів, що забезпечували високий рівень конкурентоспроможності української металургії на світовому ринку.

Водночас металургія є однією з найбільш енергоємних галузей, а витрати на електроенергію та інші енергоресурси суттєво впливають на собівартість продукції та конкурентоспроможність підприємств. В умовах зростання тарифів на енергопостачання, зниження генераційних потужностей в українській енергетичній системі та глобальної конкуренції питання зниження витрат на енергію стає стратегічно важливим для підтримки стабільності та розвитку провідної галузі економіки України.

За роки війни українська металургія майже вичерпала свій запас стійкості. Руйнування інфраструктури підприємств, обмеження в енергопостачанні та порушення логістичних ланцюгів постачання сировини та продукції, до яких можна частково адаптуватися, і значне зростання вартості електроенергії створюють надзвичайно складні умови для виробництва. У таких обставинах галузь наближається до точки незворотності, коли подальше поглиблення кризових явищ може призвести до втрати виробничого потенціалу, скорочення обсягів експорту та зниження конкурентоспроможності на світовому ринку.

Подальша адаптація української металургії до зовнішньо-економічних та політичних викликів вимагає комплексного підходу з боку держави та міжнародної спільноти. Особливу увагу слід приділяти стабілізації тарифів на електроенергію та енергоресурси, адже їх коливання прямо впливає на



собівартість металопродукції та економічну стійкість підприємств. Забезпечення доступу до прогнозованих тарифів і ефективних механізмів компенсації витрат на електроенергію є ключовим чинником підтримки виробничих обсягів та збереження конкурентоспроможності української металургії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема підвищення енергетичної стійкості металургійної галузі України набула особливої актуальності в умовах війни, руйнування енергетичної інфраструктури та зростання енергоємності виробництва. Дослідження у цій сфері присвячені роботам В. Гончарука [1], О. Смірнова [4], Н. Стучинської [7], С. Тимошенка [4], Л. Тубольцева, О. Меркулова, А. Пригунова, А. Нарівського [2], В. Шатохи [3], В. Дем'янюк, Р. Ліонс The Effect of Supply Chain Configuration on Small Modular Reactor Economic в дослідженнях яких, розглядається підвищення енергетичної стійкості металургійної галузі, зосереджувалися на підвищенні енергоефективності підприємств, впровадженні відновлюваних джерел енергії та оптимізації виробничих процесів. Особлива увага приділялася інтеграції малих модульних реакторів (ММР) та оцінці їх впливу з економічного, технологічного та екологічного аспектів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на значну кількість досліджень у сфері енергетичної стійкості металургійної галузі та застосування малих модульних реакторів (ММР), певні аспекти залишаються недостатньо вивченими. Існуючі роботи здебільшого фокусуються на техніко-економічних характеристиках ММР, оцінці їх енергоефективності та екологічних переваг, проте питання фінансування та інвестиційної підтримки впровадження цих технологій у металургійних підприємствах висвітлено обмежено.

Особливо недостатньо досліджено роль приватних інвестицій у реалізації проектів ММР саме для металургійних комбінатів, де



енергоспоживання є критично високим. Використання ММР у доменних, конвертерних і електросталеплавильних цехах здатне забезпечити стабільне та автономне енергопостачання, знизити енергетичні витрати та підвищити технологічну надійність виробничих процесів. Водночас відсутні детальні дослідження щодо фінансових моделей, які дозволяють залучити приватні інвестиції в масштабні металургійні проекти, інтегрувати ММР у існуючі виробничі цикли та оцінити економічні вигоди для підприємств різного масштабу.

Внесок автора у дослідження проблеми. здійснено аналіз потенціалу малих модульних реакторів (ММР) для підвищення енергетичної стійкості окремих металургійних підприємств України. Виокремлено невирішені раніше аспекти інтеграції ММР у металургійні виробництва, зокрема економічні, технологічні та екологічні обмеження, а також недостатність приватних інвестицій для їх реалізації.

Проаналізовано енергетичну структуру виробництва, визначено основні енерговитрати в процесах виплавки чавуну, виробництва сталі та прокату. Оцінено ефективність існуючих джерел енергії та можливості впровадження ММР у окремих цехах, зокрема щодо стабільності енергопостачання, зниження витрат і скорочення викидів парникових газів.

Виділено роль приватних інвестицій у реалізації проєктів ММР, що дозволяє зменшити фінансове навантаження, забезпечити масштабування технології та підвищити економічну доцільність її впровадження. Здійснені аналізи та оцінки дозволяють сформулювати практичні рекомендації щодо інтеграції ММР у металургійні підприємства для підвищення їх енергетичної автономності, ефективності виробничих процесів і сталого розвитку.

Формулювання цілей статті. Метою статті є оцінка потенціалу малих модульних реакторів (ММР) для підвищення енергетичної стійкості металургійних підприємств України та визначення їх економічних,



технологічних і екологічних переваг у контексті підвищення енергоефективності і залучення приватних інвестицій.

Виклад основного матеріалу дослідження. Металургійна галузь України представлена двома основними типами сталеплавильного виробництва — доменно-конвертерним циклом (BF-BOF) та електросталеплавильним виробництвом (EAF). Кожен із них має свої технічні особливості, економічну ефективність, рівень енергоспоживання та екологічні характеристики.

Таблиця 1

Показники питомих енерговитрат загальної річної енергоемності для провідних металургійних підприємств України.

Тип металургійного виробництва / під-ства	Номінальні потужності з виробництва сталі	
	млн.т.	%
EAF	2,3	13,07%
Interpipe	1,3	7,39%
Дніпроспецсталь	1	5,68%
BF-BOF	15,3	86,93%
Дніпровський металургійний завод (DCH)	1,2	6,82%
ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг"	6,5	36,93%
ПАТ "Запоріжсталь" (Metinvest holding)	4,1	23,30%
ПРАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ" (Metinvest holding)	3,5	19,89%
Усього	17,6	100,00%

Джерело: складено автором на основі джерела 8.

Доменно-конвертерне виробництво (BF–BOF) представлено провідними металургійними підприємствами України — «АрселорМіттал Кривий Ріг» (6,5 млн т), «Запоріжсталь» (4,1 млн т), «КАМЕТ-СТАЛЬ» (3,5 млн т) та Дніпровським металургійним заводом (1,2 млн т). Сукупна потужність цього типу становить 15,3 млн тонн сталі, або 86,93% загальноукраїнського обсягу.

BF–BOF є класичною технологією, що поєднує виплавку чавуну в доменній печі та подальше його перетворення у сталь у кисневому конвертері. Процес потребує значних капіталовкладень, відзначається високим



енергоспоживанням (18–25 ГДж/т) і викидами CO_2 до 2,2 т/т сталі, що обмежує його екологічну та економічну ефективність.

Споживання електроенергії для BF–BOF становить у середньому 250–430 кВт·год на тонну сталі.

Електросталеплавильне виробництво (EAF) в Україні базується на переплаві металобрухту в електродугових печах. Його основними представниками є підприємства «Інтерпайп» (1,3 млн т) та «Дніпроспецсталь» (1,0 млн т), сумарна потужність яких становить 2,3 млн т, або 13,07% національного обсягу.

Технологія вирізняється нижчим загальним енергоспоживанням (3,5–6,0 ГДж/т), незначними викидами CO_2 (0,3–0,5 т/т) та вищою питомою витратою електроенергії — 450–700 кВт·год на тонну сталі, оскільки основним джерелом енергії у процесі є електрична дуга.

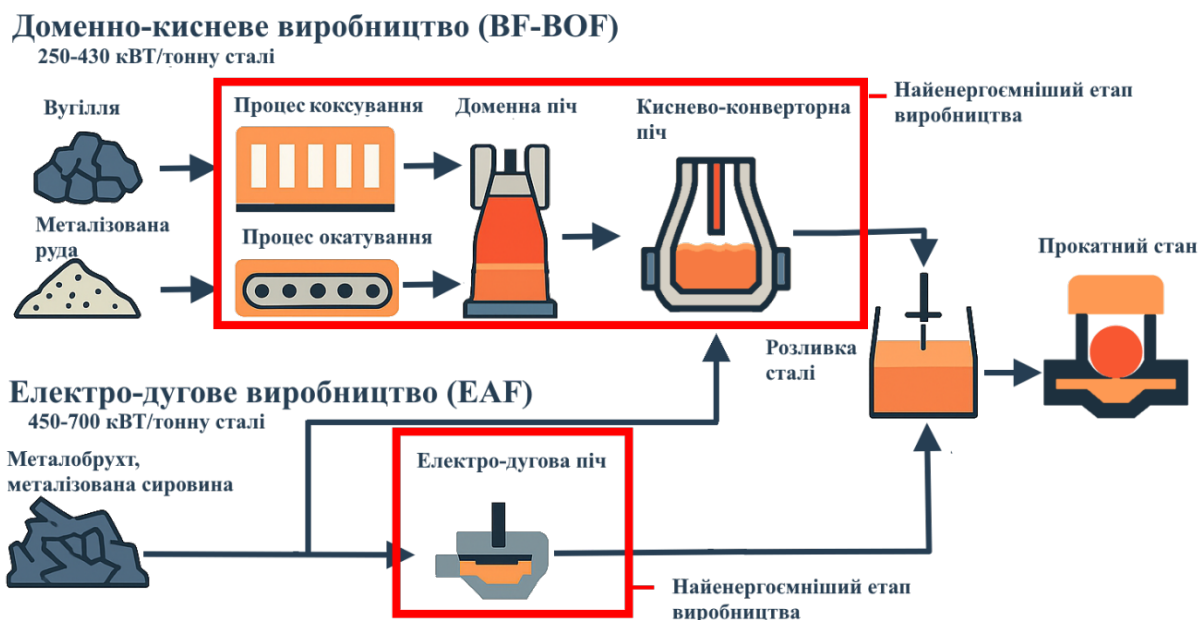


Рис.1. Інфографіка енергоспоживання на етапах металургійного виробництва



Високі та непередбачувані тарифи на електроенергію стали однією з найбільших загроз для стабільності української металургійної галузі. Підприємства, що працюють у цій сфері, неодноразово заявляли про серйозні фінансові труднощі через значне зростання витрат на енергоресурси.

Генеральний директор ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» Мауро Лонгобардо зазначає, що високі тарифи на електроенергію критично впливають на роботу підприємства. За його словами, компанія споживає близько 250 МВт·год навіть без повного завантаження, а частка електроенергії у ціні продукції зросла з 7% до 20%. У травні 2025 року ціни сягали 94 євро/МВт·год — у п'ять разів більше, ніж у Франції. Через це за перші п'ять місяців 2025 року підприємство зазнало чистого збитку 3,8 млрд грн [10].

В умовах енергетичної нестабільності, спричиненої руйнуванням критичної інфраструктури та високою вартістю традиційних енергоносіїв, українська металургійна галузь стикається з нагальною потребою у створенні стійких джерел енергії, здатних забезпечити безперервність виробництва та скорочення вуглецевих викидів. Одним із найперспективніших напрямів вирішення цієї проблеми є впровадження малих модульних реакторів (ММР), що поєднують високу надійність, енергоефективність та екологічну безпеку.

Малі модульні реактори (ММР, англ. *Small Modular Reactors*) належать до нового покоління ядерних енергетичних технологій, призначених для гнучкого, безпечного та економічно ефективного виробництва електроенергії. Їх відмінною рисою є модульність конструкції, що передбачає можливість серійного виготовлення реакторних установок на заводах, транспортування їх у готовому вигляді до місця експлуатації та швидкого монтажу без масштабних будівельних робіт. Потужність одного модуля зазвичай становить від 50 до 300 мегават електричної енергії, що робить такі установки придатними для енергозабезпечення промислових підприємств і локальних енергосистем [11].



Впровадження ММР здатне забезпечити металургійні підприємства автономним і стабільним електропостачанням, що є особливо важливим у регіонах, де централізована енергосистема зазнала значних пошкоджень. Розміщення таких установок поблизу великих промислових центрів, зокрема Кривого Рогу, Запоріжжя, Дніпра та Кам'янського, створює передумови для формування локальних енергетичних кластерів. Це дозволяє підприємствам працювати незалежно від перебоїв у національній енергомережі та гарантує безперервність технологічного циклу виробництва сталі. Високий коефіцієнт надійності ММР, що сягає 90–95%, забезпечує стабільне постачання електроенергії для доменних і сталеплавильних процесів, де будь-які зупинки можуть призвести до значних матеріальних втрат [12].

З економічної точки зору, впровадження ММР відкриває можливість зниження енергетичних витрат у структурі собівартості металопродукції. ММР дозволяють стабілізувати ці витрати завдяки тривалому паливному циклу, який може тривати до десяти років без перезавантаження. Це забезпечує прогнозованість фінансових потоків і підвищує конкурентоспроможність української сталі на міжнародних ринках. Крім того, капітальні витрати на будівництво малих модульних реакторів є суттєво нижчими, ніж у випадку великих атомних електростанцій, що створює сприятливі умови для залучення інвестицій і реалізації державно-приватних партнерств [6].

Інтеграція малих модульних реакторів у металургійну галузь має стратегічне значення для енергетичної трансформації України. Вона сприяє підвищенню енергетичної незалежності, створенню нових можливостей для технологічного розвитку й розширенню міжнародного співробітництва. Участь України в глобальних програмах з розроблення ММР, таких як NuScale Power, GE Hitachi або Rolls-Royce SMR, відкриває перспективи залучення



інвестицій, трансферу передових технологій та створення високотехнологічних робочих місць [6].

Попри високий потенціал малих модульних реакторів (ММР) у забезпеченні енергетичної стабільності та сталого розвитку металургійної промисловості, процес їх впровадження в Україні супроводжується низкою системних бар'єрів і ризиків.

Найбільш відчутним є економічний бар'єр, пов'язаний із високою капіталомісткістю будівництва навіть малих реакторів. Вартість розробки, ліцензування, проектування й локалізації виробництва компонентів ММР залишається надзвичайно високою. Для України, яка перебуває у стані війни та значного дефіциту бюджету, це створює суттєві фінансові ризики.

Таблиця 2

Комплексна характеристика енергетично-генераційних технологій

Технологія / характеристика	CAPEX	OPEX	Тривалість інвестиційно-будівельної фази	Безпечовий фактор	Комплексна характеристика технології
Атомна енергетика					
АЕС (повнорозмірна)	≈ 5 000–9 000 USD/кВт	≈ 25–50 USD/МВт·год	6–10 років для нових блоків; може збільшуватись до 12 років при FOAK	Дуже високі вимоги до ядерної безпеки, багаторівневий захист, ліцензування, контроль радіації та відпрацьованого палива	Високий CAPEX, низьковуглецева генерація, довготривалий ресурс (40–60 років), стабільне базове навантаження, складне регулювання та високі фінансові ризики
ММР	≈ 4 000–5 000 USD/кВт	≈ 15–35 USD/МВт·год	3–4 роки (після FOAK)	Високі вимоги до ядерної безпеки, потребує багаторівневого захисту	Високий CAPEX, низьковуглецевий, довгостроковий ресурс
Теплова енергетика					
вугіль	≈ 2 000–3 500 USD/кВт	Середні, залежать від ціни палива	5–8 років	Високі екологічні ризики, забруднення	Середній CAPEX, значні викиди CO ₂



газ	≈ 1 000– 1 500 USD/кВт	Середні, але нижчі за вугільні	4–6 років	Ризики витоків і вибухів, викиди CO ₂ /CH ₄	Нижчий CAPEX, швидке будівництво, високі викиди
Альтернативна енергетика					
вітряна	≈ 1 300– 1 900 USD/кВт	≈ 24–40 USD/кВт·рік	1–3 роки	Низький рівень технічних ризиків	Низький CAPEX, швидке введення, залежність від ресурсу
водна	≈ 600– 4 500 USD/кВт	Низькі, але залежать від гідрології	5–10 років (великі дамби)	Ризики повеней і зміни екосистем	Висока надійність, але екологічні обмеження
сонячна	≈ 850– 1 400 USD/кВт	≈ 30–40 USD/МВт·год	1–2 роки	Мінімальні ризики експлуатації	Низький CAPEX, швидке введення, утилізаційні виклики

Джерело: складено автором на основі джерел 6, 7, 14.

CAPEX. Малі модульні реактори характеризуються високим капіталомістким вкладенням — приблизно 4 000–5 000 USD/кВт. Це значно перевищує витрати на газові (1 000–1 500 USD/кВт) і вітрові (1 300–1 900 USD/кВт) електростанції та дещо більше, ніж на великі вугільні (2 000–3 500 USD/кВт). У порівнянні з гідро- та сонячною енергетикою, ММР знаходиться в середньому діапазоні, хоча варіативність для гідроелектростанцій (600–4 500 USD/кВт) може іноді робити їх конкурентоспроможними [13, 14].

OPEX. ММР мають помірні експлуатаційні витрати — 15–35 USD/МВт·год, що нижче за вугільні та газові електростанції, але трохи вищі, ніж деякі відновлювані джерела. Наприклад, сонячна і вітрова енергетика мають OPEX приблизно 24–40 USD/кВт·рік, водна — низькі витрати, залежні від гідрології [13].

Тривалість інвестиційно-будівельної фази. ММР можуть бути побудовані за 3–4 роки, якщо це не FOAK (перший у своєму роді проект). Для порівняння: великі вугільні станції будуються 5–8 років, газові — 4–6 років, великі гідроелектростанції — 5–10 років, а сонячні/вітрові проекти — 1–3 роки. [15 с. 13- 17]

Безпековий фактор. Малі модульні реактори потребують високих вимог до ядерної безпеки, включаючи багаторівневий захист від аварій, радіаційних



витоків, а також кібератак чи воєнних ризиків. У порівнянні з іншими технологіями:

Теплова енергетика (вугілля/газ) має екологічні та викидові ризики, але не є критично небезпечною у плані аварій.

Альтернативна енергетика (сонячна, вітрова, водна) характеризується низьким рівнем технічних і екологічних ризиків, хоча гідро має потенційні ризики повеней та зміни екосистем.

Комплексна характеристика технології. ММР відрізняються високим CAPEX, але забезпечують низьковуглецеву генерацію та довгостроковий ресурс. Порівняння:

Теплова енергетика — середній CAPEX, але високі викиди CO₂ і значні операційні витрати.

Альтернативна енергетика — низький CAPEX і швидке введення в експлуатацію, проте залежність від природного ресурсу (вітру, сонця, води) та проблеми інтеграції в мережу [14].

Однією з важливих переваг малих модульних реакторів (ММР) є їхня здатність залучати приватні інвестиції, що істотно відрізняє цю технологію від традиційних великих атомних електростанцій. Висока капіталомісткість, тривалі строки будівництва та регуляторні ризики історично обмежували участь приватного капіталу у ядерній енергетиці, залишаючи цю сферу майже виключно під контролем держави. Натомість концепція ММР передбачає менші початкові витрати, модульність і можливість поетапного розгортання потужностей, що робить такі проєкти більш привабливими для приватних інвесторів і фінансових установ.

Залучення приватного капіталу до проєктів малих модульних реакторів (ММР) є важливим чинником модернізації енергоємних секторів промисловості, насамперед металургії. Оскільки частка енергетичних витрат у собівартості металургійної продукції часто перевищує 30 %, стабільне та



прогнозоване джерело електроенергії має вирішальне значення для економічної стійкості підприємств. ММР, завдяки своїй модульності, компактності та відносно низьким капітальним витратам, створюють умови для участі приватних інвесторів у розвитку енергетичної інфраструктури, що безпосередньо впливає на ефективність металургійного виробництва.

Приватні інвестиції у впровадження ММР сприяють енергетичній стабільності металургійних комбінатів. Дослідження Міжнародного агентства з атомної енергії [16 с. 82] свідчить, що використання локальних атомних потужностей може знизити енергетичні витрати промислових підприємств на 15–25 % порівняно з ринковими цінами на електроенергію. Для України, де енергоємність сталеливарного виробництва залишається однією з найвищих у Європі, це означає суттєве підвищення конкурентоспроможності, особливо в умовах нестабільного ринку електроенергії та зростання тарифів.

Концепція передбачає створення багаторівневої моделі публічно-приватного партнерства спрямованої на розвиток малих модульних реакторів як джерела низьковуглецевої енергії для гірничо-металургійного комплексу (ГМК). Її метою є поєднання державного регуляторного потенціалу, інвестиційних можливостей приватного сектору та технологічної та експертної підтримки міжнародних організацій (МАГАТЕ, OECD NEA, ЄБРР, Світовий банк тощо).

У межах цієї концепції держава виступає інституційним координатором і гарантом регуляторної стабільності, забезпечуючи правову базу, дозвільні процедури, податкові стимули, а також часткові гарантії повернення інвестицій. Гірничо-металургійні підприємства — ключові промислові споживачі енергії — виконують роль індустріальних партнерів, що формують попит на чисту електро та теплову енергію, беруть участь у співфінансуванні пілотних проєктів, визначають технічні вимоги до інтеграції ММР у виробничу інфраструктуру. Приватні інвестори залучаються через механізми



project finance, “green investment funds” або енергетичні концесії, із можливістю спільного володіння об’єктами та подальшої експлуатації на умовах довгострокових контрактів.

Міжнародні профільні організації забезпечують технологічну експертизу, стандарти ядерної безпеки, верифікацію проєктів, а також надають грантову та фінансово-кредитну підтримку в рамках глобальних програм енергетичного переходу. Для координації взаємодії сторін пропонується створення Національного центру партнерства з ММР у промисловості, який об’єднуватиме державні структури, підприємства ГМК, фінансові інституції та міжнародних партнерів.

Реалізація такої концепції сприятиме децентралізації енергозабезпечення, зменшенню вуглецевого сліду сталеплавильного виробництва, а також створенню сприятливого інвестиційного середовища для впровадження інноваційних ядерних технологій у промисловості України.

Реалізація ММР-проєктів має мультиплікативний економічний ефект. За оцінками NEA (2019), кожен мільярд доларів інвестицій у ММР здатний генерувати 1,5–2 млрд доларів доданої вартості через розвиток суміжних секторів — машинобудування, будівництва, виробництва сталі, труб та сплавів. Це означає, що металургійна галузь виграє не лише як споживач енергії, а й як постачальник матеріалів і технологій для атомної енергетики [17 с. 27 - 38].

У світовій практиці впровадження малих модульних реакторів поступово переходить із площини експериментальних і демонстраційних проєктів до реальних промислових застосувань, зокрема у гірничо-металургійному комплексі. Зростаючий попит на низьковуглецеву, стабільну та конкурентну за ціною енергію спонукає держави та великі промислові корпорації шукати альтернативу традиційним джерелам енергії — вугіллю, природному газу та мазуту. ММР розглядаються як перспективне рішення,



здатне забезпечити автономне енергопостачання металургійних підприємств, знизити вуглецевий слід виробництва сталі, а також підвищити енергетичну безпеку регіонів.

Так Канада є світовим лідером у розробленні та практичному впровадженні малих модульних реакторів для декарбонізації енергоємних галузей, зокрема гірничо-металургійного комплексу і добувної промисловості. Національна стратегія розвитку передбачає використання ММР для заміни дизельної та вугільної генерації, що забезпечує зниження викидів CO₂ на 80–90%, стабільне енергопостачання віддалених промислових об'єктів і зниження вартості енергії в довгостроковій перспективі.

Ключовим нормативним документом є Canadian Small Modular Reactor Roadmap (2018), що став основою для формування Action Plan on SMRs (2020) — дорожньої карти залучення промислових споживачів до розвитку ядерних технологій нового покоління. Ініціативу підтримують провінційні уряди Онтаріо, Саскачевану, Нью-Брансвіку та Альберти, які розглядають ММР як інструмент енергетичної безпеки промислових регіонів [18].

У практичній площині одним із ключових проєктів є Ontario Power Generation (OPG) Darlington New Nuclear Project, який передбачає будівництво першого у Північній Америці BWRX-300 SMR (розробка GE Hitachi Nuclear Energy). Реактор потужністю 300 МВт призначений не лише для роботи в електромережі, а й для енергозабезпечення промислових споживачів, включно з металургійними комбінатами регіону. Паралельно Westinghouse Electric Canada розробляє проєкт eVinci Micro-Reactor, розрахований на малі промислові об'єкти та гірничі підприємства, які працюють у віддалених північних районах — там, де традиційні джерела енергії є дорогими або нестабільними.

Таким чином, Канада розвиває системну модель державно-приватного партнерства, де уряд забезпечує регуляторну підтримку й часткове



фінансування, а промислові споживачі виступають співінвесторами та кінцевими користувачами енергії з ММР [19].

Висновки. Впровадження малих модульних реакторів (ММР) у металургійну галузь України має високий потенціал для одночасного підвищення енергетичної стійкості та економічної ефективності підприємств. ММР забезпечують стабільне, передбачуване та автономне постачання енергії, що зменшує залежність від імпортного палива, коливання тарифів та ризику перебоїв у виробництві. Це створює сприятливі умови для безперервності технологічних процесів, підвищення продуктивності та зниження витрат на енергоресурси, що є критично важливим для енергоємної металургійної промисловості.

З економічної точки зору, впровадження ММР дозволяє значно зменшити витрати на електроенергію та тепло, підвищити ефективність виробничих циклів та сприяти зростанню конкурентоспроможності української металургії на національному та міжнародному ринках. Крім того, залучення приватних інвестицій у проєкти ММР сприяє прискоренню впровадження технології, масштабуванню виробництва та ефективному управлінню ресурсами, одночасно знижуючи фінансове навантаження на державу.

Залучення приватних інвестицій у проєкти ММР відкриває широкі перспективи для розвитку металургійної галузі України. Приватні інвестори можуть прискорити впровадження ММР, знизити фінансове навантаження на державу та забезпечити ефективне управління ресурсами.

Державно-приватне партнерство створює умови для масштабування технології, модернізації енергетичної інфраструктури та розвитку високотехнологічних виробництв. Інвестиції можуть сприяти зниженню вартості електроенергії та тепла для металургійних підприємств, підвищенню



енергоефективності та стабільності виробничих процесів, що особливо важливо в умовах війни та післявоєнного відновлення.

Крім того, приватні інвестиції дозволяють впроваджувати ММР як автономне та екологічно чисте джерело енергії, що забезпечує одночасний економічний і технологічний ефект, зменшення викидів парникових газів і перехід галузі до сталого розвитку.

Окрім цього, розвиток ММР в Україні потребує оновлення законодавчої бази, узгодженої з нормами Європейського Союзу. Передусім доцільно внести зміни до Закону України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», доповнивши його окремим розділом, присвяченим ММР-технологіям. У ньому слід визначити правовий статус таких установок, умови їхньої сертифікації, ліцензування та експлуатації, а також передбачити спрощені процедури погодження для пілотних і промислових проєктів за принципом «Regulatory Sandbox», як це практикується в Канаді та США.

Важливо забезпечити гармонізацію українських норм із правом ЄС, зокрема з Директивами 2009/71/Euratom і 2011/70/Euratom, а також із Регламентом ЄС про таксономію сталих інвестицій, що визнає ядерну енергетику низьковуглецевою технологією. Це створить можливості для залучення європейських інвестицій і гарантуватиме відповідність українських ММР-проєктів міжнародним стандартам безпеки.

Отже, малі модульні реактори мають потенціал стати ключовим елементом розвитку гірничо-металургійного кластеру України. Попри значні початкові капітальні витрати, їх впровадження здатне забезпечити довгострокову енергетичну стабільність, низьковуглецеву генерацію та підвищення енергетичної безпеки країни. Важливо, що формат ММР відкриває нові можливості для залучення приватних інвестицій, завдяки меншій вартості проєктів, коротшим строкам реалізації та гнучким моделям фінансування, зокрема державно-приватному партнерству та корпоративним



угодам купівлі електроенергії (PPA). За наявності сприятливого регуляторного середовища, розвитку локальної промислової бази та належної підготовки кадрів ММР можуть стати не лише технологічною, а й фінансовою основою відновлення та модернізації української металургії.

Список використаних джерел

1. Гончарук І. В. Енергетична незалежність як суспільно – економічне явище. *Економічна наука*. 2020. № 8. С. 71 – 78.
2. Смірнов О. М., Тимошенко С. М., Нарівський А. В. Відновлення та інноваційний розвиток виробництва сталі в Україні в контексті енергоефективності та Європейського зеленого курсу. *Вісн. НАН України*, 2023, № 4. С. 21 – 38.
<https://files.nas.gov.ua/PublicMessages/Documents/0/2023/05/230508122758999-3787.pdf> (дата звернення 10.10.2025)
3. Стучинська Н. П. Енергетична безпека України: сутність і можливості реалізації. *Інвестиції: практика та досвід*, 2016. № 9. С. 104—108.
4. Тубольцев Л. Г., Меркулов О. Є., Пригунова А. Г., Нарівський А. В. Концепція сталого розвитку чорної металургії України в сучасних умовах. *Met. lit'e Ukr.*, 2022. V. 30, № 4 (331). С. 8 – 19.
5. Шатоха В. І. Сталий розвиток чорної металургії : монографія. Дніпропетровськ : Дріант. 2015. 184 с.
6. Дем'янюк В.В. Малі модульні реактори: безпекові та економічні показники, перспективи впровадження в об'єднану електроенергетичну систему України. *Ядерна енергетика та довкілля*. 2020. №18
7. Robbie Eric Lyons. The Effect of Supply Chain Configuration on Small Modular Reactor Economics. *University of Cambridge*. 2019.
8. Ukraine's Steel Sector: State of Play and Pathways to a Greener Future.
URL: <https://www.lowcarbonukraine.com/wp->



content/uploads/LCU_PB_05_Ukraine_Steel_sector_final.pdf (дата звернення 03.10.2025)

9. Energy use in the steel industry. *worldsteel.org*. *The World Steel Association*. URL: <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Fact-sheet-energy-in-the-steel-industry-2021-1.pdf>. (дата звернення 03.10.2025)

10. Лонгобардо М. Нам потрібно знайти справедливу й конкурентоспроможну ціну на електроенергію. <https://gmk.center/>. GMK Center. 01.08.2025. URL: <https://gmk.center/ua/opinion/nam-potribno-znajty-spravedlyvu-j-konkurentospromozhnu-tsinu-na-elektroenerhiu> (дата звернення 05.09.2025)

11. What are Small Modular Reactors (SMRs)?. <https://www.iaea.org>. International Atomic Energy Agency. 04.11.2021. URL: <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs> (дата звернення 13.10.2025)

12. Argonne investigates industrial SMR applications for postwar Ukraine. Nuclear Newswire. 26.11.2024. URL: <https://www.ans.org/news/article-6586/argonne-investigates-industrial-smr-applications-for-postwar-ukraine> (дата звернення 13.10.2025)

13. Denis Koshelev. Small Modular Reactors (SMRs) vs. Renewables: A comparison of two radically different energy technologies – which is more cost-effective?. URL: <https://www.larkscientific.org/in-depth-research/small-modular-reactors-vs-renewables> (дата звернення 14.10.2025)

14. CapEx and Grid Integration (2025). *Planetary P&L*. URL: <https://planetarypl.com/the-archive/comparative-energy-economics-fossil-fuels-vs-green-energy/upfront-capital-expenditure-capex> (дата звернення 14.10.2025)

15. Ernst & Young. *Government of United Kingdom*. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/665300/TEA_Projects_5-7_-_SMR_Cost_Reduction_Study.pdf. (дата звернення 04.10.2025)



16. International Energy Agency. Technology roadmap for small modular reactor deployment. *International Energy Agency*. 01.01.2021. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1944_web.pdf. (дата звернення 07.10.2025)
17. Small Modular Reactors: Nuclear Energy Market Potential for Near-term Deployment. *Nuclear energy agency*. <https://www.oecd-neo.org>. URL: <https://www.oecd-neo.org/upload/docs/application/pdf/2019-12/7213-smrs.pdf>. (дата звернення 04.10.2025)
18. Small Modular Reactors (SMRs) for Mining. Government of Canada. Nuclear energy and uranium. 13.01.2025. URL: <https://natural-resources.canada.ca/energy-sources/nuclear-energy-uranium/small-modular-reactors-smrs-mining> (дата звернення: 06.10.2025).
19. Market Snapshot: Canada's role in small modular reactor (SMR) technology. Government of Canada. 01.01.2025. URL: <https://www.cer-rec.gc.ca/en/data-analysis/energy-markets/market-snapshots/2025/market-snapshot-canadas-role-in-small-modular-reactor-smr-technology.html> (дата звернення: 06.10.2025).
20. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку. Верховна Рада України. 01.01.2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-вр> (дата звернення: 06.10.2025).