

<https://doi.org/10.15407/plit2025.01.065>

УДК 621.74/330.341.1

В.А. Гнатуш, кан. техн. наук, незалежний аналітик;

e-mail: vgnatush@gmail.com; <https://orcid.org/ORCID:0000-0003-0772-686x>
(Київ, Україна)

ТРЕНДИ ДОРОЖНЬОЇ КАРТИ ГЛОБАЛЬНОЇ ЛИВАРНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В ХХІ СТОЛІТТІ: КРАЇНИ, ТЕХНОЛОГІЇ, КАДРИ

Представлено узагальнену інформацію стосовно Дорожніх карт розвитку ливарної промисловості США, Канади та Великобританії, а також стосовно Дорожньої карти розвитку квантової індустрії Європи. Американський консорціум металоконструкцій (American Metalcasting Consortium, AMC) керував розробкою Дорожньої карти промисловості лиття металів (Metalcasting Industry Roadmap), яка оприлюднена в 2016 р. Метою останньої було визначення перспективних потреб у дослідженнях і розробках у галузі ливарної промисловості США, які забезпечать подальше її зростання. Вирішення проблем галузі заплановане в часовому проміжку від трьох до десяти років у результаті створено Дорожню карту, яка складається з чотирьох тематичних блоків: ливарні процеси, ливарні матеріали, дизайн і робоча сила. Міністерство промисловості Канади (Industry Canada), яке вже підтримувало Дорожню карту технологій (Technology Roadmap, TRM) в інших секторах промисловості країни, визначило необхідність розробки канадського TRM ливарної промисловості країни. Після серії консультацій в 1999 – 2000 рр. із залученням ливарників, науковців, постачальників, а також покупців впливів була створена Дорожня карта технологій ливарної промисловості Канади (Canadian Metalcasting Technology Roadmap), яку опубліковано в 2000 р. У ній визначено такі напрями аналізу ливарного виробництва Канади: структура та огляд галузі, управління, партнерські відносини, електронна комерція, маркетинг, продуктивність і уряд. Напрацьовано вісім основних рекомендацій для перспективного розвитку ливарної промисловості Канади — від аналізу найкращих практик до підвищення ефективності реклами. Ключовою темою Дорожньої карти Великобританії до глобальної конкурентоспроможності (Roadmap to a Globally Competitive Net Zero UK Foundry) є декарбонізація ливарної промисловості. Констатується, що за останні 25 років економіка Великобританії зазнала втрат через перенесення виробництва в конкурентні економіки країн світу, а також збільшила глобальні викиди вуглецю. У Дорожній карті запропоновано реалізувати низку заходів: від реформування внутрішнього енергетичного ринку до виділення земель під ливарні підприємства з низьковуглецевим виробництвом. Варто відзначити, що у світі розгортається друга квантова революція (The second quantum revolution). Прогнозується, що вона істотно вплине як на світову економіку, так і на виробництво металевих виробів. Для забезпечення підтримки прискореного зростання квантової індустрії в Європі у 2024 р. було створено Стратегічну дорожню карту галузі (Strategic Industry Roadmap, SIR), яка описує розвиток квантової індустрії Європи на період до 2035 р. в п'ятьох сегментах: квантові обчислення (Quantum Computing, QC), квантове моделювання (Quantum Simulation), квантова комунікація (Quantum Communication, QComm), квантове зондування та метрологія (Quantum Sensing and Metrology), а також технології підтримки (Enabling Technologies).

Ключові слова: дорожня карта, ливарна промисловість, ливарні процеси, ливарні матеріали, комп'ютерне моделювання, робоча сила, маркетинг, менеджмент.

Метали є фундаментом, на якому будувалась цивілізація людей на планеті Земля. Упродовж 2001–2023 років виробництво сталі у світі збільшилось із 850,040 до 1892,036 млн т із середньорічним темпом (CAGR) 3,5 % [1, 2], первинного алюмінію — із 24,510 до 70,581 млн т із CAGR 4,7 % [3] та міді з 15,636 до 22,057 млн т із CAGR 1,5 % [4].

При цьому виробництво фасонних металевих виливків є важливим компонентом глобальної промисловості та економічно ефективним методом їх виготовлення. Литі вироби з чорних та кольорових сплавів використовуються в багатьох галузях — від автомобілебудування до оборонної промисловості. Тому актуальним є аналіз перспектив розвитку світового ринку металевих виливків, виявлення напрямів його перспективного розвитку за країнами, матеріалами (сплавами), процесами (технологіями), дизайном та персоналом.

Метою статті є аналіз технічних та економічних оглядів і програм напрямів розвитку ливарної промисловості різних країн світу.

Світова ливарна промисловість у XXI ст. розвивається доволі динамічно. За період із 2001 по 2020 рр. виробництво металевих виливків, за даними Modern Casting [5, 6], збільшилось із 68,3 до 105,5 млн т або з CAGR 2,2 %. За результатами 2020 р., лідерами ринку є Китай (511,950 млн т), Індія (11,314 млн т) та США (9,749 млн т), загальна частка яких складає 69,2 % світового виробництва виливків 34 країнами-виробниками. При цьому у звітний період ливарна промисловість Індії продемонструвала CAGR 6,6 %, Китаю – 6,4 %, а США – (-1,0 %).

Таким чином, темпи розвитку виробництва виливків за країнами різняться, незважаючи на декларування принципів Industry 4.0. Очевидно, це є однією з причин розробки та оприлюднення Дорожніх карт розвитку ливарної промисловості такими країнами, як США, Канада та Великобританія.

США. Американський консорціум металоконструкцій (American Metalcasting Consortium, AMC) керував розробкою Дорожньої карти промисловості лиття металів (Metalcasting Industry Roadmap). Метою останньої було визначення перспективних потреб у дослідженнях і розробках у галузі ливарної промисловості США, які забезпечать подальше її зростання. Для виявлення та документування проблем у травні 2015 р. було проведено відповідний семінар. У результаті створено Дорожню карту, яка складається з чотирьох тематичних блоків: ливарні процеси, ливарні матеріали, дизайн і робоча сила. Розв'язання проблем галузі заплановане в часовому проміжку від трьох до десяти років [7]

Ливарні процеси включають такі категорії [7]:

1. Адитивне виробництво (AB) та швидке субтрактивне виробництво в литті металів (Additive Manufacturing and Rapid Subtractive Manufacturing in Metalcasting). Передбачається використання 3D-друку для виготовлення з цифрової моделі твердого виробу довільної форми. Потрібно спрямувати зусилля на інтеграцію різних методів AB у реальне виробництво ливарних стрижнів та форм за допомогою 3D-друку на піску (3D Sand Printing), а також друкованих моделей для технології лиття за моделями, що виплавляються (Investment Cast Patterns). Швидке субтрактивне виробництво (Rapid Subtractive Manufacturing, RSM) передбачає вдосконалення комп'ютеризованого числового керування (Computerized Numerical Control, CNC) процесом створення інструментів і ливарних форм шляхом локального видалення матеріалу заготовки. Це дозволить зменшити час для виконання замовлень і вартість виробництва складних виливків.

2. Зменшення ваги виливків (Lightweighting). Актуально для автомобілебудування, аерокосмічної галузі та оборонної промисловості. Передбачається виготовлення оптимально спроектованих виливків із мінімальною товщиною стінки, прийнятною для умов експлуатації. При цьому збільшується потреба у виливках із підвищеною міцністю.

3. Розумні машини та виробництво (Smart Machines and Manufacturing). Передбачається впровадження контролю ливарних процесів для підвищення їх

якості та ефективності, а також створення мереж для збору даних і прийняття рішень. Це дозволить забезпечити ефективне планування та управління всіма аспектами виробництва й логістичними ланцюгами. Одним з аспектів такої мережі є контроль і управління температурою прес-форми при литті під тиском.

4. Інтеграція та впровадження цифрових потоків (Digital Thread Integration and Implementation). Трансформація ливарного виробництва за допомогою віртуального цифрового дизайну, а також створення цифрового потоку з метою удосконалення виробничого процесу. Впровадження інтелектуального виробництва (Smart Manufacturing).

5. Автоматизація, робототехніка, ергономіка та екологічність (Automation, Robotics, Ergonomics and Sustainability). Цей комплекс заходів використовується для покращення робочого середовища ливарного підприємства. Автоматизація створить безпечніші умови роботи працівників ливарних підприємств. Наразі роботизація ефективна в умовах великих підприємств.

6. Удосконалення процесів лиття металу (Melt-Pour-Cast). Передбачається удосконалення ливарних процесів шляхом зменшення варіації факторів, удосконалення логістики тощо. Це може привести до зменшення коливань хімічного складу сплавів, покращення механічних властивостей, а також підвищення продуктивності та передбачуваності параметрів виробництва, зменшення браку й підвищення прибутковості. Одним з ефективних заходів є впровадження оперативного визначення хімічного складу сплавів.

7. Удосконалена технологія лиття металу (Advanced Metalcasting Technology). Для інтенсифікації процесів модернізації й розробки нових технологій необхідна співпраця між дослідниками, виробниками обладнання, постачальниками матеріалів, ливарниками та кінцевими споживачами виливків. Основні напрями роботи: удосконалення процесу підготовки формувального піску; використання гарячого ізостатичного пресування для зменшення пористості виливків; застосування лиття під тиском чорних металів; управління при виробництві продукції електричними, температурними та магнітними полями, а також тиском; відливання виливків шляхом проникнення розплавленого чавуну в шар залізного порошку.

8. Якість (Quality). Для підвищення попиту на виливки слід підвищити їх якість шляхом заміни якісних неруйнівних методів контролю на кількісні. При цьому потрібно досягати зменшення енергоспоживання та відходів виробництва, а також підвищення рентабельності виробництва.

Ливарні матеріали включають такі категорії [7]:

1. Ливарні матеріали (Cast Materials). Ця категорія передбачає покращення властивостей та довговічності як металів, так і метало-матричних композитів. Одним із напрямів є оптимізація механічних властивостей ливарних матеріалів для зменшення дефектів, включаючи розробку нових стандартів. Інший напрям — розробка нових або оптимізація наявних сплавів. Сфера дослідження включає легкі сплави, нанокompозити, аморфні сплави (metallic glass) та супербейнітні сталі (super Bainitic steels). Визначити варіанти заміни критичних і рідкісноземельних металів. Для збільшення міцності або зменшення ваги виливків створюються гібридні литі матеріали систем метал-метал, метал-кераміка та метал-полімер.

2. Ливарні форми, матриці та інструментальні матеріали (Mold, Die, and Tooling Materials). У сегменті металевих форм актуальними є розробки, спрямовані на збільшення терміну їх експлуатації, створення кращих покриттів і мастильних матеріалів, а також моделювання матриць та одноразових стрижнів з метою зменшення пористості та інших дефектів. У сегменті піщаних форм актуальними є повторне використання піску після його регенерації, розробка альтернатив для кремнезему, олівину та цирконового піску, покращення властивостей в'язучих матеріалів і покриттів, а також використання моделювання для проектування піщаних форм. У сегменті моделей, що виплавляються, актуальними є дослідження та розробки для покращення характеристик воску, зменшення його усадки та залишкової кількості

після заливання металу. У сегменті використання друкованих ливарних форм і стрижнів актуальними є вдосконалення та розробка нових матеріалів для використання в технологічному процесі для забезпечення рентабельності.

3. Вогнетриви печі (Furnace Refractories). Актуальними є дослідження та розробки, скеровані на вдосконалення наявних і створення нових вогнетривких матеріалів для покращення їх якості і надійності, а також зменшення вартості та підвищення енергоефективності.

Моделювання комп'ютерне (дизайн) включають такі категорії [7]:

1. Інструменти проектування для виробництва (Design Tools for Manufacturing). Застосування цих інструментів допоможе ливарним підприємствам визначити оптимальний спосіб виготовлення виливків. Розумне виробництво дозволяє автоматизувати облік та відстежувати фактичні витрати при виробництві продукції і відповідно корегувати технологічний процес та створювати калькуляцію собівартості литва. Створення навчальних прикладів процесів лиття разом із обґрунтуванням для пояснення можливостей різних методів лиття.

2. Інструменти проектування виливків (Design Tools for Casting). Сучасні інструменти (програмне забезпечення) проектування дозволяють створити виливок оптимальної конфігурації, тому передбачається автоматичне застосування принципів проектування виливків. Розробка точного програмного забезпечення моделювання передбачає використання теплофізичних характеристик сплавів, прес-форм і стрижнів при температурах їх експлуатації. Створення бібліотеки спроектованих виливків. Розробка програми проектування виливків для "чайників". Розробка простого, технічно обґрунтованого підходу до конструкції виливків. Створення загальнодоступної бази даних ливарних матеріалів.

3. Технологія адитивного виробництва — АВ (AM Technology). АВ пропонує нові можливості для виробництва ливарних стрижнів і форм, його можливо використовувати для підтвердження технологічності конструкції виливка. Важливим є протокол проектування при використанні АВ.

4. Ресурси споживача (Customer Resources). Для збільшення інтересу до ливарства використовуються конкурси з дизайну виливків, можна запропонувати міжнародну літню школу з дизайну лиття в європейських університетах або використовувати відео чи соціальні мережі. Оцінка технічних переваг та економії коштів споживача виливків від їх використання.

5. Надійність на основі продуктивності (Performance-Based Reliability). Розробка імовірнісної моделі властивостей і якості ливарних матеріалів для проектування в процесі кристалізації виливки. Використовувати характеристики неруйнівного контролю, які забезпечують надійність виливки.

Робоча сила включає такі категорії [7]:

1. Інформаційна робота (Outreach). Активізація інформаційно-роз'яснювальної роботи серед студентів для сприймання ливарної промисловості як сучасної високотехнологічної галузі, у якій переробляють відходи. Розробка програм для популяризації технології лиття металів, включаючи комп'ютерний дизайн виливків, серед учнів середньої та старшої школи.

2. Залучення (Attraction). Розробка нових методів навчання та залучення висококваліфікованих і компетентних працівників технічного (зварювальники, модельники, машиністи тощо) та управлінського рівня для задоволення потреб галузі. Розробити програми й створити умови для використання в ливарній промисловості іноземних фахівців з освітою в таких сегментах, як матеріалознавство й машинобудування, в тому числі і з науковими ступенями. Виявляти потенційних працівників галузі, що зацікавлені в участі у програмах учнівства та стажування.

3. Навчання (Training). Розробка спеціальних навчальних програм для працівників виробничого та управлінського рівня з урахуванням галузевих стандартів і професійної сертифікації нового працівника. Залучати професійні асоціації, освітні фонди, університети та коледжі для забезпечення навчання досвідченими

інструкторами в усіх регіонах США. Забезпечення надійних джерел фінансування розробки навчальних матеріалів. Розробка галузевих професійних сертифікатів для конкретних галузевих класифікацій посад. Розробка методології безперервної освіти працівників ливарної промисловості. Оновити навчальні матеріали з техніки безпеки на виробництві та створити бібліотеки галузевих навчальних програм і матеріалів із техніки безпеки. Розробити програми професійного навчання іншими мовами, крім англійської, якими часто розмовляють працівники промисловості, наприклад іспанською.

4. Утримання (Retention). Важливим компонентом стабілізації кадрів на підприємстві є розвиток внутрішньої культури. Розробка програми наставництва для працівників ливарного цеху, що сприятиме стабілізації штату та вихованню нових лідерів. Збільшення заробітної плати працівникам, які успішно пройшли курс навчання, а також можливість для просування по службі. Комплекс таких методів допоможе як утримати висококваліфікованих працівників на підприємстві, так і сприятиме розвитку робочої сили в майбутньому.

5. Інші сфери інтересів (Other Areas of Interest). Розробка стратегії збереження досвіду працівників ливарного підприємства з подальшою передачею його до навчальних програм навчальних закладів. Розробка програми «введення» нового працівника на робоче місце та забезпечення його продуктивності. Розробка навчальних програм у сегментах робототехніки, інтерфейсів керування та комп'ютерного програмування.

Канада. Відзначається, що ливарники Канади з великим інтересом вивчали опубліковану в січні 1998 р. Дорожню карту промисловості металевого лиття США (Metalcasting Industry Technology Roadmap) [8]. Остання була створена зусиллями Американського товариства ливарників (American Foundrymen's Society), Північно-американської асоціації лиття під тиском (North American Die Casting Association) і Товариства сталеплавильників Америки (Steel Founders' Society of America) під егідою Коаліції ливарного металу (Cast Metal Coalition) та Управління промислових технологій Міністерства енергетики США (US Department of Energy's Office of Industrial Technologies). Канадські фахівці визначили, що рекомендації Дорожньої карти промисловості металевого лиття США стосовно фундаментальних досліджень є актуальними і для Канади, проте доступ до них буде реальним через американських постачальників. З огляду на це, Міністерство промисловості Канади (Industry Canada), яке вже підтримувало Дорожню карту технологій (Technology Roadmap, TRM) в інших секторах промисловості країни, визначило необхідність розробки канадського TRM ливарної промисловості країни [8]. У результаті серії консультацій в лютому та березні 1999 р., а також у лютому 2000 р. із залученням ливарників, науковців, постачальників, а також покупців виливків була створена Дорожня карта технологій ливарної промисловості Канади (Canadian Metalcasting Technology Roadmap), яка опублікована в 2000 р. [8].

У ній визначено такі напрямки аналізу ливарного виробництва Канади:

1. Структура та огляд галузі (Industry Structure & Overview) [8]. Ливарну промисловість Канади формують підприємства трьох типів: магазини робіт (Job Shops) — малосерійне та одиничне виробництво виливків; виробничі цехи / постачальники виробникам оригінального обладнання (Production Shops/Suppliers to Original Equipment Manufacturers) — серійне виробництво виливків для невеликої кількості споживачів; приєднані цехи (Captive Shops) — ливарні цехи входять до складу великих підприємств, які виробляють готову продукцію. Відзначається, що ливарні підприємства країни використовують велику лінійку ливарних процесів і сплавів чорних і кольорових металів. У результаті виробничники стикаються з такими проблемами, як екологія, відносини з постачальниками і клієнтами, ставками компенсації працівникам, наявність кваліфікованих спеціалістів, доступ до технологій тощо. Також існують зацікавлені сторони, до яких належать технологічні асоціації, а також постачальники матеріалів, обладнання та програмного забезпечення. Скла-

довою ливарної промисловості країни є такі сегменти, як наукові дослідження та розробка технологій і сплавів, виконавцями яких, серед інших установ, є Canadian Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET) і Industrial Materials Institute, а також освіта (Віндзорський університет — University of Windsor та інші). Крім того, багато значить імідж ливарної промисловості, яку вважають застарілою та брудною.

2. Управління (Management) [8]. Відзначається, що ливарні компанії не відрізняються від будь-якого іншого бізнесу, тому при управлінні ними потрібно дотримуватися загальноприйнятих стандартів. У першу чергу ливарники повинні бути підприємцями, тобто шукати фінансові, технічні, продуктові, інноваційні і маркетингові переваги, що забезпечить конкурентоздатність ливарного підприємства та його продукції.

3. Партнерські відносини (Partnerships) [8]. Партнерство в ливарній промисловості країни охоплює широкий спектр покупок виливків — від тих, які неодноразово звертаються до одного виробника, до покупок виливків, які мають постійні відносини з виробником. В окремих випадках повна інтеграція двох компаній може охоплювати кілька сегментів співпраці, таких як одночасне проектування, дослідження процесів тощо. Слід відзначити, що клієнт / покупець виливків перевіряє у виробника обсяг його продажів, властивості сплавів, наявність випробувальної лабораторії та можливість моделювання. Якщо ці показники задовільні, то клієнт надсилає пакет інформації про себе та замовлення. Якщо відповідь на останнє є задовільною, відбувається особистий візит на підприємство. Очевидно розробка проекту / замовлення — це спільна відповідальність усіх учасників, у тому числі інвестора.

4. Електронна комерція (E-commerce) [8]. Дослідження встановили, що в ливарному бізнесі Канади найчастіше електронна комерція використовується у форматі електронної пошти для надсилання проектів САПР між клієнтами, сторонніми розробниками шаблонів і прототипів, одночасного проектування, а також передачі інформації в програми стереолітографії, ЧПК тощо. Це дозволяє скоротити час виконання замовлення та розширити географію діяльності ливарного заводу, як із поставальниками, так і з клієнтами. Ще одним напрямком електронної комерції є розробка та використання веб-сайту поставачів в інтернеті. При цьому про існування веб-сайту необхідно повідомляти в інших публікаціях компанії, на візитних картках тощо.

5. Маркетинг (Marketing) [8]. Відзначається, що успішні ливарні компанії вийшли за межі свого розташування, щоб обслуговувати ніші або ринки виробників комплексного обладнання (Original Equipment Manufacturer, OEM) на всьому американському континенті та за його межами. Це було досягнуто завдяки розумному і творчому менеджменту, активному й стратегічному маркетингу, продукту розвитку та розвитку партнерства. Констатується, що конкуренція за бізнес виробників комплексного обладнання була високою та іноді передбачала офіційний процес торгів. Водночас одні ливарні компанії мають своїх зовнішніх продавців або агентів за межами регіону, країни та континенту. Інші ливарні компанії для контактів використовують торговельні виставки та членство в промислових асоціаціях клієнтів. Треті — ведуть продажі з головного офісу, іноді за допомогою «менеджера з продажу». Разом з тим маркетинг був доволі пасивним у багатьох підприємствах із працевлаштуванням, особливо щодо місцевих ринків. Наразі констатовано, що успішні ливарні компанії мають активні, агресивні та орієнтовані на послуги маркетингові програми. Водночас на ливарний ринок Канади впливає імпорт виливків із країн Азії (Китай, Тайвань) і торговельні обмеження.

6. Продуктивність (Productivity) [8]. На продуктивність у промисловості Канади та ливарній зокрема впливають такі фактори, як технології, інвестиції, людські ресурси та освіта, і всі вони взаємопов'язані. Проте для того щоб порівняти показники різних компаній, наприклад продажі й експорт, або прогнозувати ринкові тенденції, потрібні статистичні дані. Асоціації Канади намагаються надати частину цих даних своїм членам. Статистичне управління Канади надає багато даних стосовно ливарного виробництва, але вони недостатньо повні та неструктуровані.

6. Уряд (Government) [8]. У результаті роботи над Дорожньою картою технологій ливарної промисловості Канади та контактів із представниками ливарних компаній були виявлені федеральні, провінційні, комунальні та загальні або спільні проблеми. До федеральних питань віднесено: відсутність державної допомоги та закону про країну походження, існування бар'єрів між провінціями, податок на доходи фізичних осіб у Канаді, що вищий ніж у США, неможливість імпорту спеціалістів через зміни в імміграційному законодавстві, зменшення часу, необхідного для отримання патентів на нові вироби й процеси. У сегменті провінцій є проблеми з управлінням відходами, неостатнє інформування про промисловість у системі освіти, різна вартість електроенергії в провінціях. Таким чином, ливарний бізнес потребує державної підтримки та пільг.

З огляду на сказане, в Дорожній карті технологій ливарної промисловості Канади представлені такі основні рекомендації [8]:

- необхідно заохочувати порівняльний аналіз найкращих практик у таких сферах, як партнерство клієнт-постачальник, ливарні технології тощо;
- для розширення ринку литва необхідно активізувати процес заміни кованих виробів на виливки;
- потрібно розширити можливості електронної комерції;
- для забезпечення захисту навколишнього середовища слід розробити модель сталого зростання та екологічної відповідальності;
- потрібно розвивати освітнє партнерство між ливарними підприємствами, асоціаціями та навчальними закладами.
- необхідно покращити доступ до статистичних даних щодо ливарних компаній, аби забезпечити об'єктивний порівняльний аналіз і вимірювання ефективності підприємств галузі;
- для оптимізації оподаткування потрібно надіслати звернення до Канадського митного та податкового агентства;
- слід приділити більше уваги рекламній кампанії, яка б акцентувала на різноманітному використанні виливків промисловими споживачами.

Великобританія. Ключовою темою Дорожньої карти Великобританії до глобальної конкурентоспроможності (Roadmap to a Globally Competitive Net Zero UK Foundry) є декарбонізація ливарної промисловості [9]. Констатується, що за останні 25 років економіка Великобританії зазнала втрат через перенесення виробництва в конкурентні економіки країн світу, а також збільшила глобальні викиди вуглецю. За цей же період ливарна промисловість Великобританії втратила 100 000 робочих місць. У результаті економіка країни недоотримала 10 млрд фунтів стерлінгів валової доданої вартості (ВДВ). У Дорожній карті запропоновано реалізувати такі заходи [9]:

- реформувати енергетичний ринок країни, щоб дати ливарним підприємствам країни доступ до чистої електроенергії за цінами, порівнянними із цінами світових конкурентів;
- розробити стимули для капітальних інвестицій у плавильні печі з нульовим вмістом вуглецю та виробниче обладнання, яке було б доступним для всіх видів ливарних цехів;
- прискорити розробку та реалізацію політики, спрямованої на стимулювання попиту споживачами низьковуглецевих виробів і компонентів, а також на корегування відповідних стандартів;
- запровадити ефективну торгову політику для просування низьковуглецевих компонентів Великобританії на глобальні ринки та на неуможливлення замінювати їх виробами з високим вмістом вуглецю;
- заохочувати місцеві й регіональні органи влади країни виділяти землі сучасним ливарним підприємствам із нульовим викидом вуглецю та пов'язаних із ними об'єктів виробництва енергії з нульовими викидами вуглецю.

Європа. Важливо відзначити, що у світі розгортається друга квантова революція (The second quantum revolution) [10]. Прогнозується, що вона суттєво вплине як на

світову економіку загалом, так і на виробництво металевих виробів зокрема. Як свідчить звіт компанії McKinsey, на світовому ринку квантових технологій (Quantum Technology, QT) лідирує Північна Америка з майже 40 % гравців і понад 60 % усього фінансування стартапів [10]. Для забезпечення підтримки прискореного зростання квантової індустрії в Європі в 2024 р. була створена Стратегічна дорожня карта галузі (Strategic Industry Roadmap, SIR) [10], описує розвиток квантової індустрії Європи на період до 2035 р. у таких п'ятьох сегментах: квантові обчислення (Quantum Computing, QC), квантове моделювання (Quantum Simulation), квантова комунікація (Quantum Communication, QComm), квантове зондування та метрологія (Quantum Sensing and Metrology), а також технології підтримки (Enabling Technologies). При цьому актуальним є управління інтелектуальною власністю та ліцензуванням, що принесе значні комерційні вигоди всім гравцям галузі, а також удосконалення процедури передачі технологій від університетів до виробників. Очевидно, що квантові технології впливатимуть на медицину та розробку ліків, комунікації і конфіденційність, енергетику, навколишнє середовище, сільське господарство, фінанси та національну безпеку тощо [10].

Висновки

Сильна в економічному плані країна повинна систематично турбуватись про підвищувальний тренд розвитку промисловості, а особливо такої базової галузі, як ливарна промисловість. Тому розвинені країни, як-от США, Канада та Великобританія, розробляють перспективні Дорожні карти розвитку ливарної промисловості. Спільною рисою розглянутих Дорожніх карт є намагання активізувати розвиток ливарної промисловості з урахуванням поточних трендів розвитку ринку виливків, наукових розробок, маркетингу та менеджменту, інформаційних технологій тощо. Це зумовлено тим, що ливарний бізнес, як і будь який інший, залежить від багатьох факторів. Серед них: ливарні технології і матеріали, персонал, інформаційні технології, регулювання внутрішнього ринку країни-виробника та регулювання експортних поставок, енергозбереження й екологія, навчання фахівців тощо. Тому тільки комплексний підхід до розробки Дорожньої карти розвитку ливарної промисловості може дати позитивний результат.

Список літератури

- 1 Steel Statistical Yearbook 2003. International Iron and Steel Institute. Brussels, February 2004. 115 p.
- 2 Press Release – December 2023 crude steel production and 2023 global crude steel production totals. 25 January 2024. Brussels, Belgium. 5 p. World Steel Association. URL: <https://worldsteel.org/>.
- 3 International Aluminium Institute. URL: <https://international-aluminium.org/>.
- 4 International Copper Study Group. URL: <https://icsg.org/>.
- 5 36th Census of World Casting Production — 2001. Modern Casting. December 2002. p. 23–24.
- 6 Census of World Casting Production. Fewer Castings Made in 2020. Modern Casting. December 2021, p. 26–28.
- 7 Metalcasting Industry Roadmap. May 2016. 96 p. URL: https://amc.ati.org/wp-content/uploads/2018/06/AMC_2016_Roadmap.pdf.
- 8 Canadian Metalcasting Technology Roadmap. March 2000. 74 p. URL: https://publications.gc.ca/collections/collection_2021/isde-ised/iu44/lu44-199-2000-eng.pdf.
- 9 UK Roadmap to a Globally Competitive Net Zero UK Foundry. Cast Metals Federation. 2023. 24 p. URL: <https://www.castmetalsfederation.com/wp-content/uploads/2023/02/Roadmap-to-a-Globally-Competitive-Net-Zero-UK-Foundry-Sector.pdf>.

- 10 Strategic Industry Roadmap (SIR). January 2024. 189 p. URL: <https://www.euroquic.org/wp-content/uploads/2024/02/PUBLIC-version-Strategic-Industry-Roadmap-2024.pdf>.

Надійшла 18.12.2024

V.A. Gnatush, PhD (Engin.), independent analyst, e-mail: vgnatush@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0003-0772-686x>
(Kyiv, Ukraine)

GLOBAL FOUNDRY ROADMAP TRENDS IN THE XXI CENTURY: COUNTRIES, TECHNOLOGIES, PERSONNEL

Generalized information is presented regarding the Roadmaps for the development of the foundry industry of the USA, Canada, and Great Britain, as well as regarding the Roadmap for the development of the quantum industry in Europe. The American Metalcasting Consortium (AMC) led the development of the Metalcasting Industry Roadmap, which was released in 2016. The purpose of the latter was to identify prospective needs in research and development in the US foundry industry, which will ensure further growth of the industry. Solving the problems of the industry is planned in a time interval from three to ten years. As a result, a Roadmap was created, which consists of four thematic blocks: foundry processes, foundry materials, design and workforce. The Ministry of Industry Canada (Industry Canada), which already supported the Technology Roadmap (TRM) in other sectors of the country's industry, identified the need to develop a Canadian TRM for the country's foundry industry. As a result of a series of consultations in 1999...2000. with the involvement of foundries, scientists, suppliers, as well as buyers of castings, the Canadian Metalcasting Technology Roadmap was created, which was published in 2000. As a result, the following areas of analysis of the Canadian foundry industry are identified: industry structure and overview, governance, partnerships, e-commerce, marketing, productivity and government. As a result, eight main recommendations were developed for the future development of the foundry industry in Canada: from analyzing best practices to increasing the effectiveness of advertising. A key theme of the Roadmap to a Globally Competitive Net Zero UK Foundry is the decarbonisation of the foundry industry. It is noted that over the past 25 years, the UK economy has suffered losses as a result of the transfer of production to competitive economies around the world, and has also increased global carbon emissions. The Roadmap proposes to implement a number of measures: from reforming the domestic energy market to allocating land for foundry enterprises. It should be noted that the second quantum revolution is unfolding in the world. It is predicted that the latter will significantly affect both the world economy and the production of metal products. To ensure support for the accelerated growth of the quantum industry in Europe in 2024. the Strategic Industry Roadmap (SIR) was created. The latter describes the further development of Europe's quantum industry for the period up to 2035. in the following five segments: Quantum Computing (QC), Quantum Simulation (Quantum Simulation), Quantum Communication (QComm), Quantum Sensing and Metrology (Quantum Sensing and Metrology), and Enabling Technologies).

Keywords: road map, foundry industry, foundry processes, foundry materials, computer simulation, workforce, marketing, management.