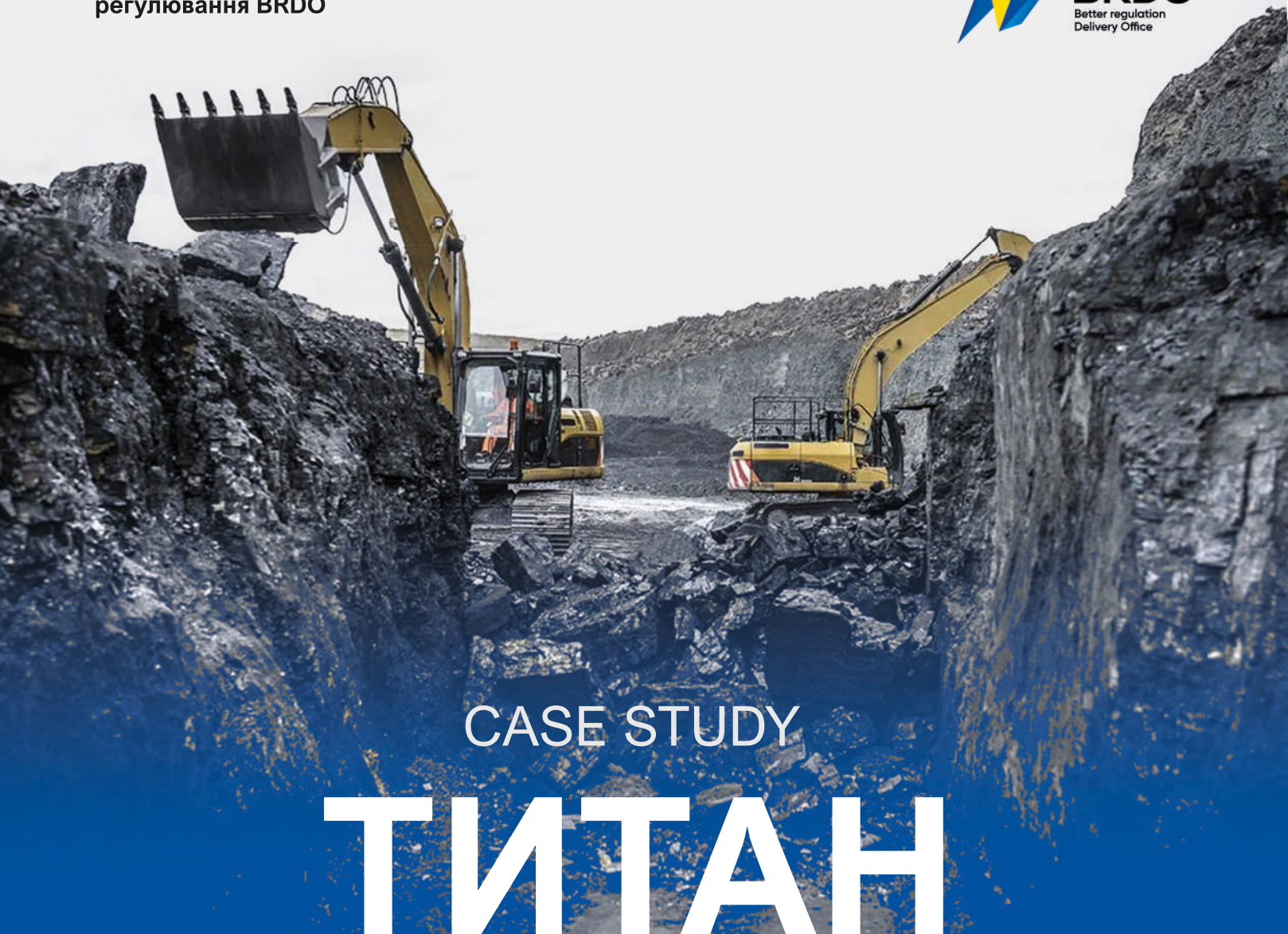




CASE STUDY ТИТАН

Від руди до інновацій:
комплексний аналіз індустрії титану
в контексті української промислової
політики

Олексій Гладкий
Володимир Головатенко
Олександр Озеран

ЗМІСТ

Вступ	3
Розділ 1. Огляд світового ринку титану	4
1.1. Світовий видобуток титанових руд	5
1.2. Виробництво титанової губки	6
1.3. Світове споживання металевого титану за галузями	7
1.4. Тенденції ринку діоксиду титану	8
Висновок до Розділу 1	9
Розділ 2. Титанова галузь України	10
2.1. Історичний огляд титанової галузі України	11
2.2. Поточний стан мінеральної бази титану в Україні	12
2.3. Виробничі потужності і ключові гравці	13
2.4. Експортний потенціал та динаміка	14
Висновок до Розділу 2	15
Розділ 3.	
Глобальні ланцюги створення доданої вартості у титановій промисловості	16
3.1. Етапи ланцюга створення доданої вартості	17
3.2. Ключові гравці й інтегровані бізнес-моделі	18
3.3. Глобальні ризики і вразливості ланцюгів	19
Висновок до Розділу 3	20
Розділ 4. Перспективи розвитку титанової галузі України	21
4.1. Нові технології виробництва титану	22
4.2. Екологічна і технологічна трансформація	23
4.3. Міжнародна співпраця й інтеграція у глобальні ринки	24
4.4. Український сировинний титановий кластер	25
Висновок до Розділу 4	26
Розділ 5. Висновки та рекомендації	27
5.1. Основні висновки	28
5.2. Рекомендації для Уряду України	29
5.3. Рекомендації для міжнародних партнерів	30
5.4. Рекомендації для бізнесу	31
Завершальний висновок	33
Додаток А. Використані джерела	34
Додаток В. Показники ефективності титанової галузі України	43
Додаток С. Практичні рекомендації для Уряду України	45

ВСТУП

Титан є стратегічним матеріалом сучасної промисловості. Його поєднання високої міцності, біосумісності, корозійної стійкості та відносно низької густини робить цей метал незамінним у провідних високотехнологічних галузях — аерокосмічній, оборонній, медичній та хімічній. Зростання світового авіапарку, розвиток адитивного виробництва та медичних технологій підвищують попит на титанові сплави. Водночас геополітичні й екологічні виклики актуалізують питання стійкості ланцюгів постачання та впровадження інноваційних технологій.

Мета цього дослідження — сформувати цілісне бачення стану та перспектив розвитку світового й українського ринків титану, визначити стратегічні пріоритети для промислової політики та бізнес-стратегій, а також надати рекомендації щодо оптимізації ланцюга створення доданої вартості.

Завдання передбачають: аналіз видобутку ільменіту та рутилу; оцінку технологій виробництва титанової губки й діоксиду титану; вивчення структури глобального попиту на металевий титан; а також дослідження української ресурсної бази, виробничих потужностей і експортного потенціалу.

Методологія поєднує кількісні та якісні підходи. Кількісний аналіз ґрунтується на статистиці USGS, World Bank та ACI World, а також на економетричних моделях для оцінки мультиплікаційних ефектів. Якісний компонент включає експертні інтерв'ю, аналіз нормативно-правових актів (зокрема Critical Raw Materials Act та програми Horizon Europe), а також огляд міжнародних практик цифровізації ланцюгів постачання.

Також проведено аналіз глобальних тенденцій з урахуванням українського контексту, та наведено рекомендації для модернізації виробництва, розвитку цифрових рішень і підвищення експортного потенціалу.

Структура дослідження охоплює весь ланцюг: від сировини до кінцевої продукції, демонструючи перспективи розвитку галузі в умовах глобальних викликів.



РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СВІТОВОГО РИНКУ ТИТАНУ

Титан — легкий і водночас міцний метал, чия корозійна стійкість та унікальні фізико-хімічні властивості роблять його основним матеріалом для високотехнологічних галузей. Його застосування охоплює авіаційне та космічне машинобудування, медицину, оборонну промисловість і хімічне виробництво. Промислове використання титану розпочалося у 1940-х роках у США після впровадження процесу Кролла, що дав змогу отримувати метал у промислових масштабах.

Глобальний розвиток титанової індустрії тісно пов'язаний із аерокосмічним сектором. За даними ACI World, обсяги світових авіаперевезень зростають у середньому на 5–6% щорічно. Це підвищує попит на легкі та міцні матеріали, зокрема титанові сплави. Відповідно, провідні виробники розширюють видобуток сировини й модернізують потужності для виробництва титанової губки.

У межах цього розділу розглядаються ключові елементи ланцюга створення доданої вартості:

- видобуток титановмісних руд і їхнє збагачення (1.1);
- виробництво титанової губки (1.2);
- глобальне споживання металевого титану (1.3);
- тенденції ринку діоксиду титану як проміжного продукту (1.4).

Такий підхід дає змогу комплексно оцінити як виробничі, так і споживчі аспекти, а також виявити стратегічні ризики й можливості. Окрема увага приділяється екологічним і геополітичним факторам, які визначають стійкість ринку та перспективи його розвитку.



1.1. СВІТОВИЙ ВИДОБУТОК ТИТАНОВИХ РУД

Основними джерелами титану є ільменіт і рутил. Ільменіт забезпечує близько 90% світових потреб у титанових мінералах, тоді як рутил, менш поширений, проте з високим вмістом діоксиду титану (понад 85%), використовується у виробництві металевого титану та діоксиду титану для спеціалізованих застосувань.

За даними Геологічної служби США (USGS), у 2024 році світовий видобуток ільменіту становив близько 8,9 млн тонн, що на 0,7% більше, ніж у 2023 році (8,84 млн тонн). Видобуток рутилу, навпаки, скоротився з 590 тис. тонн у 2023 році до 450 тис. тонн у 2024 році (–24%). Такі зміни зумовлені як технологічними, так і геополітичними чинниками, що впливають на доступність окремих родовищ і собівартість видобутку.

Лідери світового ринку ільменіту (2025 рік):

- **Китай** — $\approx 37\%$ світового видобутку (3,3 млн тонн);
- **Мозамбик і Південна Африка** — разом $\approx 36\%$ (1,9 і 1,3 млн тонн відповідно);
- **Канада** — близько 4% (0,35 млн тонн);
- **Індія** — $\approx 2\%$ (0,21 млн тонн);
- **Сенегал** — $\approx 3\%$ (0,3 млн тонн).

Лідери з видобутку рутилу:

- **Австралія** — 200 тис. тонн ($\approx 44\%$ світового обсягу);
- **Південна Африка і Сьєрра-Леоне** — ключові виробники, проте остання у 2024 році скоротила видобуток майже на 46%.

У регіональному розрізі понад 60% світового видобутку титанових концентратів припадає на Азійсько-Тихоокеанський регіон, близько 25% — на Африку, а решта (10–15%) — на Північну й Південну Америку та Європу. Протягом останніх років відзначається тренд на диверсифікацію джерел: розробку нових родовищ у Південній Америці та Австралії, а також модернізацію потужностей у ПАР та Мозамбіку.

Економічна вартість світового ринку ільменіту у 2024 році оцінювалася у 11–12 млрд дол. США. За прогнозами, до 2034 року обсяг може зрости до 16,8 млрд дол. США із середньорічним темпом близько 4%. Попит стимулюється не лише потребами аерокосмічної та оборонної промисловості, а й виробництвом діоксиду титану для лакофарбової, пластмасової та паперової індустрій.

Близько 55% діоксиду титану використовують як білий пігмент у виробництві фарб, решту — у пластмасах, папері й спеціалізованих матеріалах. Водночас авіаційна галузь залишається основним споживачем металевого титану, що робить стабільність видобутку ільменіту та рутилу стратегічно важливою.

Сучасні підходи до сталого розвитку передбачають зниження екологічного впливу технологій збагачення та інтеграцію соціальних програм у регіонах видобутку. Однак геополітична нестабільність у деяких країнах Африки та Східної Азії підвищує ризики перебоїв у поставках і коливань цін, що вимагає постійного моніторингу та диверсифікації ланцюгів постачання.



1.2. ВИРОБНИЦТВО ТИТАНОВОЇ ГУБКИ

Виробництво титанової губки є ключовим етапом перетворення рудної сировини на металевий титан, придатний для подальшого використання у виготовленні злитків і сплавів. Основним промисловим методом залишається термохімічний процес Кролла. Він передбачає хлорування ільменіту чи рутилу з утворенням тетрахлориду титану (TiCl_4) та подальше відновлення магнієм у середовищі інертного газу за температури 800–1000 °C. У результаті формується пориста титанова губка і побічний продукт — хлорид магнію (MgCl_2), який підлягає електролізу й повертається у виробничий цикл.

Глобальне виробництво. Обсяги випуску титанової губки зросли з 114 тис. тонн у 2000 році до 309 тис. тонн у 2024 році. Частка Китаю становить близько 71% (220 тис. тонн), Японії — 17,8% (55 тис. тонн), Росії — 6,5% (20 тис. тонн), Казахстану — 4,5% (14 тис. тонн), Саудівської Аравії — 4,9% (15 тис. тонн). Станом на 2025 р. у США немає комерційного виробництва губки для металургії; Мінторг США вказує, що останній завод закритий у 2020-му. Водночас USGS-2024 фіксував невеликий об'єкт у Солт-Лейк-Сіті з річним виробництвом близько 500 тонн, що виробляв матеріал для електроніки (див. US DOC (травень-2025) і USGS-2024).

Технологічні аспекти.

- **Перевага процесу Кролла** — високий рівень очищення титану.
- **Недолік** — значна енергоємність: близько 423 ГДж/т; електроенергія становить понад 60% енергоспоживання (частка за LCA Китаю).
- **Порівняльні публічні дані собівартості за країнами відсутні; орієнтир** — середня ціна імпорту губки у США ≈ 12 дол./кг у 2023 р.; для порошоків за HAMR заявляється ціль ≈ 55 дол./кг після масштабування. Різницю зумовлюють відмінності у вартості енергоресурсів, сировини та робочої сили.

Якість продукції.

Авіакосмічна промисловість вимагає губки найвищої чистоти, з мінімальним вмістом домішок (Fe, Si, Al $< 0,1\%$) і відповідністю стандартам AMS. Поза Китаєм сертифіковану для авіакосміки губку постачають Японія, Казахстан і Саудівська Аравія. РФ історично постачала, але у 2022–2025 поставки до більшості західних OEM припинені через санкційні режими та добровільні обмеження закупівель. Китайські виробники здебільшого орієнтовані на промислове використання з нижчими вимогами.

Інновації та екологія.

- Сучасні дослідження зосереджені на зниженні енергоспоживання, зокрема через індукційний нагрів реакторів (економія $\approx 15\%$).
- Перспективними вважаються електрохімічні методи відновлення TiCl_4 , які можуть підвищити вихід титану до 98% та працювати за нижчих температур.
- Екологічний аспект передбачає замкнені цикли переробки Mg і Cl, що скорочують викиди й витрати.

Український контекст.

Запорізький титано-магнієвий комбінат (ЗТМК) мав проектну потужність 20 тис. тонн на рік, але через логістичні проблеми та зупинку виробництва у 2022 році фактичний випуск знизився до нуля. У 2022 році було реалізовано близько 1 тис. тонн із наявних запасів. Відновлення роботи ЗТМК потребує модернізації технологічного парку та інвестицій у підвищення енергоефективності.

Перспективи розвитку. До 2030 року глобальні потужності з виробництва губки мають зрости до 400 тис. тонн на рік. Основними драйверами залишаються авіаційна промисловість (приріст попиту близько 6% на рік) і виробництво медичних імплантів ($\approx 8\%$ на рік). Для забезпечення стабільності постачання розглядаються нові виробничі проекти в Південній Америці та Африці, що дасть змогу зменшити залежність від азійського ринку.

1.3. СВІТОВЕ СПОЖИВАННЯ МЕТАЛЕВОГО ТИТАНУ ЗА ГАЛУЗЯМИ

Попит на металевий титан сконцентрований у кількох провідних секторах економіки. У 2024 році його розподіл за галузями був таким:



Роль Титану на сьогоднішній день у ВПК США

В американському секторі ВПК титан застосовується у виробництві корпусів літаків, корпусів підводних човнів, ракет, реактивних та вертолітних двигунів, кораблів.

Зокрема, у відомих типах озброєнь:

V-22 Osprey,

F-35 Lightning,

F-22 Raptor,

C-17 Globemaster,

UH-60 Black Hawk,

M777A1 Howitzer,

LPD17 Class Ships,

SSN774 Class Ships,

M1 Abrams

Світовий ринок титанової губки зростає в середньому на 2,8% на рік. За даними Asian Metal, ціна на титанову губку з Китаю зросла з мінімуму 6,9 долара за кг у липні 2020 року до 10,5 долара за кг у червні 2021 року.

Авіакосмічний сектор. Основний споживач титану завдяки його високому співвідношенню міцності до маси та корозійній стійкості. У 2024 році цей сектор використав понад 170 тис. тонн, що становить понад половину світового попиту. Титан застосовується у виробництві конструкцій літаків (фюзеляжі, крила), деталей авіаційних двигунів (лопаті компресорів, корпуси) та космічних апаратів. Попит прямо залежить від темпів зростання авіаперевезень: за прогнозами ACI World, у 2025 році глобальний пасажиропотік перевищить 9,9 млрд, що на 4,8% більше порівняно з 2024 роком.

Промислове використання. Близько чверті світового титану споживають хімічна, нафтохімічна, нафтова й газова промисловості. Метал застосовується у теплообмінниках, реакторах, трубопроводах та іншому обладнанні, що працює в агресивних середовищах і за температур до 600 °C. Перевага титану — тривалість ресурсу і зменшення витрат на обслуговування. У 2024 році цей сегмент становив близько 80 тис. тонн (26% попиту). Оборонно-промислова галузь. На неї припадає близько 7% споживання. Титан використовується у бронетехніці, корпусах підводних човнів, ракетних системах і гелікоптерах. Прикладом є застосування титанових сплавів у програмі F-35 Lightning і в корпусах сучасних підводних човнів. Попит формується державними оборонними замовленнями та програмами модернізації озброєнь.

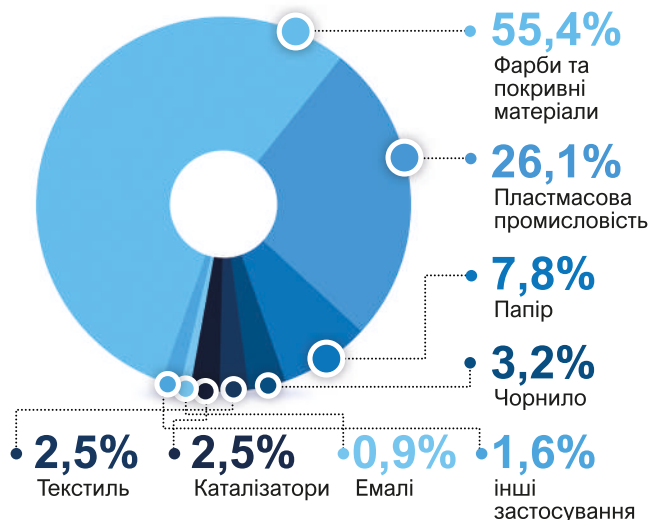
Медицина. Медичні й біомедичні вироби становлять близько 4% попиту. Завдяки біосумісності й відсутності токсичних домішок титан широко застосовується у виробництві ортопедичних і стоматологічних імплантів, стентів, хірургічних інструментів. Ця сфера демонструє стабільне зростання внаслідок старіння населення і розвитку медичних технологій.

Інші сегменти. Приблизно 7% світового попиту припадає на електроніку, спортивний інвентар, предмети розкоші (годинники, прикраси), а також на архітектурні рішення. Ці сегменти зростають завдяки поєднанню високої функціональності та естетичних властивостей титану.

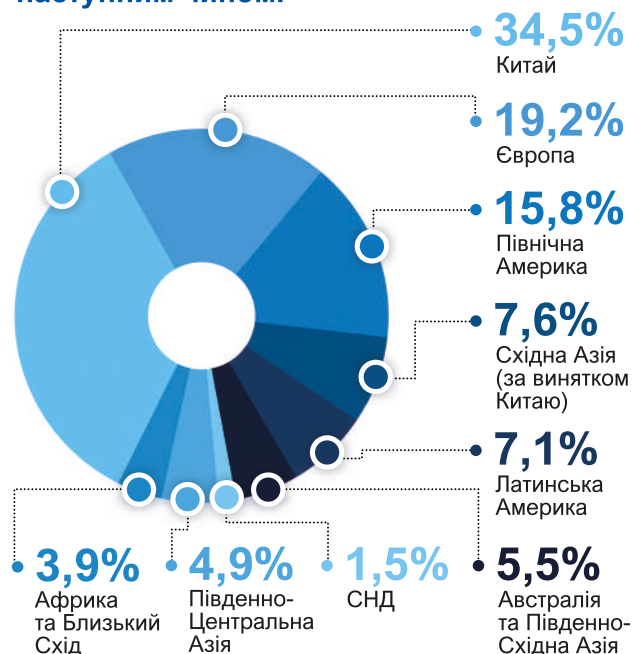
Висновок. Авіакосмічна та промислова сфери залишаються головними драйверами споживання титану, тоді як військовий і медичний сектори забезпечують стратегічну та соціальну значущість металу. Сприятливі прогнози для всіх галузей свідчать про стабільний попит у середньостроковій перспективі, що створює основу для розширення виробництва й інвестицій.

1.4. ТЕНДЕНЦІЇ РИНКУ ДІОКСИДУ ТИТАНУ

Споживання пігменту двоокису титану за галузями промисловості представлено наступним чином:



Споживання по регіонах представлено наступним чином:

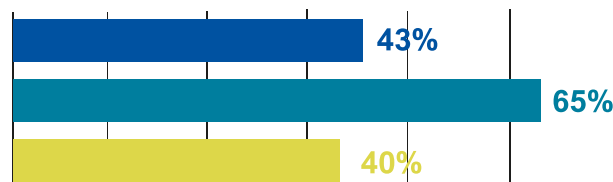


На сьогоднішній день більше 60% діоксиду титану виробляється 6-ма найбільшими виробниками:

- Chemours (колишній Dupont) (США) — 16,4 %;
- Cristal (CA) — 11,2%;
- Venator (ex Huntsman) (США) — 10,3%;
- LomonBillions (Китай) — 9,3%;
- Kronos (Європа) — 7,5%;
- Tronox (США) — 6,2%.

Серед основних споживачів — компанії PPG, Sherwin-Williams, AkzoNobel, Nippon Paint і Masco, які разом формують близько 40% попиту у секторі фарб і покриттів.

Ключові споживачі:



■ Фарби та покривні матеріали: Sherwin-Williams, PPG, AkzoNobel, RPM, Axalta, Nippon Paint, BASF, Kansai Paint, Jotun, Masco. Спільно компанії займають 43% даного ринку.

■ Чорнила для друку: DIC/Sun, Flint Group, Toyo ink, Sakata, Siegwark. Разом компанії займають 65% даного ринку.

■ Мастербатч для пластику: Ampacet, Cabot, Clariant, Dainichiseika, Inabata, PoluOne, Schulman. Разом компанії займають 40% даного

Діоксид титану (TiO_2) є ключовим проміжним продуктом титанової промисловості та використовується переважно як білий пігмент. Його виробництво здійснюється двома методами:

- Сульфатний процес — обробка ільменіту або титанових шлаків концентрованою сірчаною кислотою з подальшим гідролізом і прожарюванням осажденного TiO_2 . Перевага — можливість застосовувати руди нижчої якості та відносно низькі капітальні витрати. Недолік — утворення великих обсягів відходів, які потребують складного зберігання.

- Хлорний процес — хлорування високоякісної сировини (рутил або збагачений ільменіт) з отриманням $TiCl_4$, який далі окиснюють за температури близько 1000 °C у флюїдизованих реакторах. Метод забезпечує продукт високої чистоти й блиску, але потребує дорожчої сировини та суворого технологічного контролю.



Ринкові тенденції.

- У 2024 році ринок TiO_2 , виробленого хлорним методом, оцінювався у 5,2 млрд дол. США. У 2026–2033 роках очікується зростання на рівні 5% на рік.

- Лакофарбова промисловість споживає близько 60% TiO_2 , пластмаси — 20%, паперова промисловість — 5%, інші сфери (косметика, харчова промисловість, кераміка, каталізatori) разом — 15%.

- Найбільший регіональний ринок — Азійсько-Тихоокеанський (понад 40% світового попиту). Європа формує близько 20%, Північна Америка — 25%. Латинська Америка, Близький Схід і Африка спільно забезпечують близько 15% попиту, демонструючи найвищі темпи зростання завдяки великим інфраструктурним проектам.

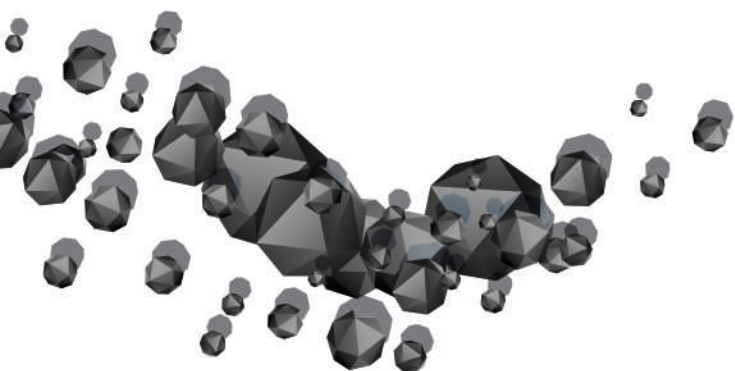
Екологічний аспект.

- Сульфатний метод генерує значні обсяги гіпсових відходів, що обмежує його використання в умовах жорсткого екологічного регулювання.

- Хлорний метод, попри вищу капіталоємність, вважається перспективнішим завдяки можливості рециклінгу побічних продуктів і зменшенню негативного впливу на довкілля.

Висновок.

Ринок діоксиду титану перебуває у фазі структурної трансформації: зростає частка хлорного процесу, посилюється конкуренція між західними та китайськими виробниками, а екологічні стандарти визначають технологічні пріоритети. Це безпосередньо впливає на позиції України, де модернізація виробництва і перехід до чистіших технологій можуть стати умовою доступу на глобальні ринки.



ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 1

Аналіз світового ринку титану підтверджує його стратегічне значення для високотехнологічних галузей. Видобуток ільменіту та рутилу загалом демонструє стабільне зростання, водночас основні обсяги зосереджені в Азійсько-Тихоокеанському регіоні та Африці (разом понад 80% світового виробництва). Нерівномірний розподіл ресурсів і залежність від політично нестабільних регіонів створюють ризики для стабільного постачання.

Виробництво титанової губки і далі ґрунтується на процесі Кролла. Його перевага — висока чистота металу, а недолік — значна енергоємність і екологічні виклики. Інновації у сфері рециклінгу реагентів, застосування індукційного нагріву і дослідження електрохімічних методів потенційно можуть зменшити витрати й скоротити викиди.

Споживання титану сконцентровано у двох секторах — авіакосмічному та промисловому, що разом формують понад 80% попиту. Військовий і медичний сегменти мають стратегічне значення і підсилюють потребу у високій надійності та стабільності постачання.

Ринок діоксиду титану розвивається за двома технологіями — сульфатною і хлорною. Поступове зростання частки хлорного процесу спричинене вимогами до якості продукції й екологічними стандартами. Лідером за споживанням і виробництвом залишається Азійсько-Тихоокеанський регіон, тоді як Європа посилює регуляторний контроль, а Північна Америка зберігає високі вимоги до якості.

Глобальні тренди визначають кілька ключових напрямів розвитку:

- диверсифікація джерел сировини для зменшення ризиків перебоїв у поставках;
- інвестиції в енергоефективні й екологічні технології;
- інтеграція цифрових рішень і систем моніторингу для підвищення прозорості ланцюгів постачання;
- розвиток адитивного виробництва як нового чинника попиту.

Для України ці висновки підкреслюють необхідність модернізації наявних виробничих потужностей, інтеграції в глобальні ланцюги постачання та розвитку експортних напрямів із високою доданою вартістю. Створення комплексної промислової політики з акцентом на інновації, екологію та міжнародне партнерство дасть змогу закріпити позиції країни серед провідних учасників титанової індустрії.

РОЗДІЛ 2.

ТИТАНОВА ГАЛУЗЬ УКРАЇНИ

Україна володіє одними з найбільших у світі запасами титанових руд і традиційно належить до провідних гравців глобального ринку. Геологічна різноманітність родовищ — від розсипних до корінних — створює базу для формування повного виробничого циклу: від видобутку руд до виробництва металевого титану і його сполук.

Розвиток титанової промисловості України історично мав інтегрований характер: у радянський період країна забезпечувала видобуток ільменіту та рутилу, виробництво титанової губки та діоксиду титану. Після здобуття незалежності Україна успадкувала розвинену виробничу інфраструктуру, проте ринкові трансформації супроводжувалися браком інвестицій і відставанням у модернізації технологічного парку.

Сучасна галузь функціонує в умовах воєнних ризиків, руйнування інфраструктури та блокади традиційних експортних маршрутів. Це суттєво вплинуло на виробництво й торгівлю, змушуючи компанії шукати альтернативні логістичні рішення. Водночас стратегічне значення титану для глобальної економіки створює передумови для інтеграції України у міжнародні ланцюги постачання, особливо в партнерстві з ЄС і США.

Метою цього розділу є комплексний аналіз стану української титанової галузі. Досліджуються:

- історичний розвиток (2.1);
- сучасна мінерально-сировинна база (2.2);
- виробничі потужності і ключові гравці (2.3);
- експортний потенціал і його динаміка (2.4).

Особлива увага приділяється питанням модернізації підприємств, екологічної відповідальності та перспектив вертикальної інтеграції. Міжнародна фінансова підтримка (ЄБРР, Світовий банк) відкриває можливості для впровадження інновацій, розвитку екологічно чистих технологій і цифровізації виробничих процесів.



2.1. ІСТОРИЧНИЙ ОГЛЯД ТИТАНОВОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Формування титанової промисловості України розпочалося у 1950–1960-х роках із відкриття перших родовищ у межах Українського кристалічного щита. У 1961 році запрацював Іршанський гірничо-збагачувальний комбінат, а згодом — Вільногірський ГЗК, що започаткувало масштабний видобуток ільменітових і рутилових руд.

Паралельно з розвитком сировинної бази створювалися металургійні потужності. У 1964 році в Запоріжжі почав працювати титано-магнієвий комбінат (ЗТМК), який став основним виробником титанової губки для всього СРСР. У 1969 році на заводі «Кримський титан» в Армянську було запущено виробництво діоксиду титану за сульфатним методом, що дало змогу сформувати повний технологічний цикл — від видобутку до хімічної переробки.

Науковий супровід здійснював Інститут титану НАН України (раніше — галузеве об'єднання з розробки технологій титану), який з 1990-х років активно співпрацює з міжнародними науковими центрами та підтримує розробку нових процесів плавлення і переробки.

Після здобуття незалежності Україна успадкувала основні титанові активи СРСР — два гірничо-збагачувальні комбінати, ЗТМК та «Кримський титан». Це забезпечило збереження технологічного потенціалу, однак перехід до ринкової економіки у 1990-х роках супроводжувався спадом виробництва внаслідок розриву коопераційних зв'язків і браку інвестицій.

Відродження галузі почалося у 2010-х. У 2011 році компанія Велта збудувала сучасний гірничо-збагачувальний комплекс на Бірзулівському родовищі і стала провідним приватним виробником концентратів. Її продукція постачалася, зокрема, американській компанії Chemours. До 2020 року частка України у світовому видобутку титанових руд становила близько 7%.

Початок повномасштабної війни у 2022 році призвів до різкого скорочення виробництва та експорту внаслідок руйнування інфраструктури й логістичні обмеження. Водночас Україна активізувала міжнародне співробітництво: укладено угоди з міжнародними партнерами щодо модернізації виробництв і підтримки експорту продукції з високою доданою вартістю.

Сучасні дослідження в Україні зосереджені на електронно-променевому переплаві сплавів, підвищенні рівня чистоти металу та розвитку технологій титанових порошків для адитивного виробництва. Виробничі процеси поступово інтегрують цифрові рішення: автоматизований контроль якості руди, прогнозне обслуговування обладнання, системи управління екологічними ризиками.

Таким чином, титанова галузь України має понад півстолітню історію розвитку, пережила структурні кризи та зберегла ключові технологічні компетенції. Її подальше відновлення й розвиток залежать від модернізації підприємств, залучення інвестицій і розширення міжнародних партнерств.



2.2. ПОТОЧНИЙ СТАН МІНЕРАЛЬНОЇ БАЗИ ТИТАНУ В УКРАЇНІ

Україна володіє одними з найбільших у світі запасами титанових руд, які за оцінками становлять близько 20% світових ресурсів. Водночас фактичне виробництво концентратів у 2023 році становило лише близько 7% глобального обсягу.

Основні запаси зосереджені у важких піщаних розсипах, що містять ільменіт і рутил. Ключове значення мають Іршанське та Вільногірське родовища, які розробляються однойменними гірничо-збагачувальними комбінатами. За класифікацією USGS, ці родовища належать до категорій R1 і C2, що свідчить про високий ступінь підтвердженості запасів.

Рівень використання потенціалу ресурсної бази досі обмежений: у середньому 40–50% розвіданих запасів перебувають в експлуатації. Причини — економічні та інфраструктурні обмеження, а з 2022 року — ще й чинники війни. Повномасштабна агресія призвела до скорочення виробництва більш ніж на 50% через руйнування інфраструктури, логістичні проблеми та втрату доступу до частини ділянок.

Державна програма розвитку мінерально-сировинної бази України до 2030 року передбачає розширення геологорозвідувальних робіт і пошук нових родовищ, однак через брак фінансування та безпекові ризики темпи досліджень залишаються низькими.

Ключові виклики:

- накопичення відходів збагачувального виробництва, що потребують сучасних технологій утилізації й управління водними ресурсами;
- зношування обладнання та недостатня автоматизація виробничих процесів;
- обмежений доступ до фінансування для розвитку нових ділянок.

Перспективні напрями розвитку:

- впровадження цифрових технологій для моніторингу родовищ і моделювання запасів;
- використання штучного інтелекту для оптимізації ланцюгів постачання;
- модернізація систем зберігання відходів та екологічний контроль.

Стійкість галузі напряму залежить від стабілізації безпекової ситуації, залучення інвестицій і розвитку вертикально інтегрованих проєктів, що дасть змогу поєднати видобуток, виробництво губки та переробку концентратів у продукцію з високою доданою вартістю.



2.3. ВИРОБНИЧІ ПОТУЖНОСТІ І КЛЮЧОВІ ГРАВЦІ

Українська титанова галузь представлена комплексом підприємств, що охоплюють увесь цикл — від видобутку рудної сировини до виробництва напівфабрикатів. Історично система складалася з чотирьох основних ланок: Іршанський і Вільногірський ГЗК (видобуток ільменіту та рутилу), Запорізький титано-магнієвий комбінат (виробництво губки) та завод «Кримський титан» (діоксид титану).

Наявні гірничо-збагачувальні підприємства

- **Іршанський ГЗК (Житомирська обл.)** — спеціалізується на видобутку ільменіту. Потужність до 800 тис. тонн концентрату на рік. Підприємство модернізувало флотаційні лінії у 2010-х, однак з 2022 року працює з перебоями.

- **Вільногірський ГЗК (Дніпропетровська обл.)** — виробництво ільменіту та рутилу, потужність 1 млн тонн концентрату. До 2021 року був найбільшим виробником у Європі.

- **Велта (Кіровоградська обл.)** — приватна компанія, що експлуатує Бірзулівське та Лікарівське родовища. Потужність близько 200 тис. тонн концентрату. Компанія активно інвестує у створення власних потужностей із виробництва титанових порошків для адитивного виробництва.

Переробка та металургія

- **Запорізький титано-магнієвий комбінат (ЗТМК)** — єдиний виробник титанової губки в Європі. Проектна потужність — 20 тис. тонн на рік, фактичний випуск у 2021 році становив близько 5 тис. тонн. У 2022 році виробництво було зупинене через воєнні дії й енергетичні обмеження. Потребує модернізації, зокрема заміни енергомістких печей і впровадження індукційних реакторів.

- **«Кримський титан» (м. Армянськ, тимчасово окупований Крим)** — виробництво діоксиду титану за сульфатною технологією, потужність до 120 тис. тон на рік. Підприємство втрачено з 2014 року.

Нові проєкти та приватні ініціативи

- «Велта» реалізує програму створення повного ланцюга виробництва титану — від концентрату до готових порошків. З 2022 року компанія веде переговори зі США та ЄС про локалізацію нових потужностей.

- Декілька менших компаній розробляють родовища у Житомирській, Дніпропетровській і Кіровоградській областях, проте їхній внесок у загальний баланс залишається незначним.

Ключові виклики виробничої інфраструктури:

- застаріле обладнання та енергоємні технології;
- ризики, пов'язані з воєнними діями;
- потреба у відповідності міжнародним стандартам якості (AMS, ASTM) для виходу на аерокосмічний і медичний ринки.

Щоб перетворити наявні виробничі активи на конкурентоспроможний ланцюг доданої вартості, доцільно розглянути створення спеціалізованого українського титанового кластера. Такий кластер об'єднає видобувні, переробні та металургійні підприємства, забезпечить спільну інфраструктуру та прозорі правила для інвесторів, а також створить умови для виробництва продукції з високою доданою вартістю. Детально концепцію кластера викладено в розділі 4.4.

Висновок. Українська титанова галузь зберігає потужну ресурсну базу та окремі виробничі компетенції, однак потребує комплексної модернізації. Відновлення і розвиток ЗТМК, залучення іноземних інвестицій та впровадження нових технологій визначатимуть конкурентоспроможність України у глобальних ланцюгах постачання.

2.4. ЕКСПОРТНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТА ДИНАМІКА

Україна традиційно входила до п'ятірки світових експортерів титанових концентратів. До 2021 року щорічні обсяги експорту ільменітових руд і концентратів становили 500–600 тис. тонн, забезпечуючи близько 7% світової торгівлі. Основними покупцями були США, Чехія, Польща, Туреччина та Китай. Значну частку становили поставки для компаній Chemours (США) та Precheza (Чехія).

Вплив повномасштабної війни. З 2022 року експорт різко скоротився більш ніж удвічі внаслідок руйнування портової інфраструктури, блокади морських шляхів і обмежених можливостей залізничної логістики. Частина контрактів була переорієнтована на сухопутні маршрути через Польщу та Румунію, проте витрати на транспортування зросли на 25–40%.

Структура експорту у 2023–2024 роках:

- ільменітові концентрати — понад 85% загального обсягу;
- рутил — 10%;
- титанові шлаки та інші продукти первинної переробки — близько 5%.

Експорт титанової губки з України фактично відсутній через зупинку Запорізького титано-магнієвого комбінату. Діоксид титану після втрати контролю над «Кримським титаном» у 2014 році більше не належить до експортного портфеля.

Регіональна динаміка.

- ЄС залишається основним ринком, забезпечуючи понад 50% українського експорту.
- США зберігають стратегічне значення, зокрема в межах домовленостей про забезпечення критичними матеріалами для авіаційної та оборонної промисловості.
- Китай і Туреччина залишаються вагомими споживачами концентратів, проте обсяги поставок нестабільні внаслідок логістичних ризиків та політичної кон'юнктури.

Перспективи.

- ЄС у межах Critical Raw Materials Act розглядає Україну як ключового партнера для диверсифікації джерел постачання. Це відкриває перспективи довгострокових контрактів і спільних інвестицій у вертикально інтегровані проєкти.
- США в рамках ініціативи щодо забезпечення критичних мінералів також посилюють співпрацю з Україною.

Подальший розвиток експорту залежатиме від модернізації виробничих потужностей, створення доданої вартості в Україні і розвитку альтернативної логістики (зокрема дунайських портів і залізничних коридорів).

Деталізовані кількісні та якісні показники, зокрема експортна спроможність у розрахунку на душу населення та порівняння з провідними країнами-експортерами, наведені у Додатку В. Вони дають змогу оцінювати не лише абсолютні обсяги експорту, але й відносні конкурентні позиції України на глобальному ринку.

Висновок.

Попри воєнні виклики, Україна зберігає статус значного гравця на світовому ринку титанових концентратів. Стратегічна інтеграція з ЄС і США, відновлення виробництва титанової губки і розвиток високотехнологічних сегментів здатні перетворити країну з постачальника сировини на виробника продукції з високою доданою вартістю.



ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2

Україна має унікальну мінерально-сировинну базу, що становить близько п'ятої частини світових запасів титанових руд. Історично сформований виробничий комплекс забезпечував повний цикл — від видобутку концентратів до випуску металевого титану і діоксиду титану. Проте спадок радянської інфраструктури, відсутність масштабних інвестицій у 1990–2010-х роках і руйнівний вплив війни призвели до занепаду значної частини потужностей.

Попри це, країна зберігає ключові компетенції та стратегічний потенціал:

- наявність великих родовищ ільменіту та рутилу;
- функціонування гірничо-збагачувальних комбінатів (Іршанський, Вільногірський, Велта);
- науково-технологічну базу (Інститут титану, галузеві дослідницькі центри);
- міжнародні партнерства, що зміцнюють інтеграцію у глобальні ланцюги постачання.

Основні проблеми галузі пов'язані з високою енергоємністю виробництва, застарілим обладнанням, втратою «Кримського титану» та зупинкою ЗТМК. Війна посилила ризики: обсяги експорту скоротилися удвічі, а логістика ускладнилася й подорожчала.

Водночас геополітичні зміни створюють нові можливості. ЄС і США розглядають Україну як стратегічного партнера у постачанні критичних мінералів. Міжнародна фінансова допомога відкриває шлях до модернізації, впровадження екологічно чистих технологій і розвитку виробництва продукції з високою доданою вартістю (титанова губка, порошки для адитивних технологій, спеціалізовані сплави).

Таким чином, українська титанова галузь перебуває на переломному етапі: відновлення й модернізація виробництва здатні перетворити її з постачальника сировини на одного з ключових гравців глобального ринку з високою часткою готової продукції. Це вимагатиме цілеспрямованої промислової політики, інвестицій у науку й технології та глибшої інтеграції з партнерами з НАТО і ЄС.



РОЗДІЛ 3.

ГЛОБАЛЬНІ ЛАНЦЮГИ СТВОРЕННЯ ДОДАНОЇ ВАРТОСТІ У ТИТАНОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Титанова промисловість формує складний багаторівневий ланцюг створення доданої вартості, який охоплює видобуток мінералів, їх збагачення, виробництво губки, виплавлення злитків, виготовлення напівфабрикатів і кінцевої продукції. Вартість титану зростає у десятки разів на шляху від сировини до високотехнологічних виробів, що зумовлює ключову роль вертикальної інтеграції та контролю над усіма етапами.

Світові ланцюги постачання зосереджені у невеликій кількості країн та компаній. Лідерами є США, Японія, Китай і Росія, які контролюють виробництво губки та злитків, а також інтегровані корпорації авіаційного сектору (Boeing, Airbus, Rolls-Royce). Зростання ролі Китаю, що поєднує видобуток, переробку та споживання, змінює баланс на ринку та посилює ризики концентрації.

Для країн-експортерів сировини критично важливою є здатність рухатися вгору ланцюгом доданої вартості — від продажу концентратів до виробництва губки, злитків і продукції з високою технологічною складовою. Це дозволяє не лише збільшувати економічні переваги, але й забезпечувати стійкішу інтеграцію у глобальні ринки.

Подальші підрозділи розглядають:

- основні етапи ланцюга створення доданої вартості (3.1);
- ключових гравців й інтегровані бізнес-моделі (3.2);
- глобальні ризики і вразливості ланцюгів (3.3).



3.1. ЕТАПИ ЛАНЦЮГА СТВОРЕННЯ ДОДАНОЇ ВАРТОСТІ

Ланцюг створення доданої вартості у титановій промисловості складається з кількох ключових етапів, кожен з яких формує окремий сегмент ринку і визначає рівень економічних вигод для учасників.

1. Видобуток і збагачення руд.

- Основні мінерали: ільменіт ($\approx 90\%$ ринку) та рутил ($\approx 10\%$).
- Технологічні процеси включають збагачення гравітаційними і флотаційними методами.
- Продукт: концентрат із вмістом TiO_2 50–65% для ільменіту і понад 85% для рутилу.
- Додана вартість: низька, ціна визначається переважно світовою кон'юнктурою.

2. Виробництво титанових шлаків.

- Ільменіт піддається термічній обробці (карботермічне відновлення), внаслідок утворюється шлак із підвищеним вмістом TiO_2 (75–85%).
- Шлаки використовують у виробництві діоксиду титану або губки.
- Додана вартість: середня, продукція є більш стандартизованою.

3. Виробництво титанової губки.

- Ключова технологія: процес Кролла.
- Продукт: металева губка з вмістом титану 98–99,7%, придатна до переплаву.
- Вартість: у 10–12 разів вища за концентрат.
- Додана вартість: висока, обмежене коло виробників формує бар'єр для входу.

4. Виплавка злитків та напівфабрикатів.

- Застосовуються електронно-променеві і вакуумно-дугові печі.
- Продукти: титанова зливки, плити, прутки, листи.
- Вартість: на 20–30% вища, ніж у губки.
- Важливий етап сертифікації відповідно до міжнародних стандартів (AMS, ASTM).

5. Виробництво сплавів і готових компонентів.

- Основні напрямки: авіаційні і медичні сплави (Ti-6Al-4V , $\text{Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo}$), порошки для 3D-друку.
- Споживачі: авіаційна промисловість, оборонний сектор, медицина.

- Додана вартість: найвища; кінцева продукція може коштувати у 50–100 разів дорожче за сировину.

6. Використання відходів і рециклінг.

- Брухт титану становить важливу частку ринку (до 25% у США та ЄС).
- Вторинна переробка знижує собівартість і екологічне навантаження.

Висновок.

Економічна ефективність у титановій галузі безпосередньо залежить від здатності країни рухатися «вгору» ланцюгом створення доданої вартості. Найнижчі доходи формує експорт концентратів, тоді як найбільші вигоди отримують виробники сертифікованих сплавів і готових компонентів для аерокосміки й медицини.



3.2. КЛЮЧОВІ ГРАВЦІ Й ІНТЕГРОВАНІ БІЗНЕС- МОДЕЛІ

Глобальний ринок титану характеризується високим рівнем концентрації. Лише кілька країн і корпорацій контролюють критичні етапи виробництва — від губки до сертифікованих сплавів і готових компонентів для аерокосмічної та оборонної промисловості.

Виробники губки та злитків

- **Китай** — найбільший виробник титанової губки (понад 70% світового випуску). Основні компанії: BaoTi Group, Shaanxi Tianyu, Pangang Group — орієнтовані внутрішній ринок і промислове використання; сертифікація для авіакосміки обмежена.

- **Японія** — компанії Toho Titanium та OSAKA Titanium Technologies. Постачають губку й зливки найвищої чистоти для авіаційних корпорацій Boeing і Airbus.

- **Росія** — корпорація «ВСМПО-АВІСМА». Один з найбільших виробників злитків та напівфабрикатів для авіаційної й оборонної галузей.

- **Казахстан** — Ust-Kamenogorsk Titanium-Magnesium Plant. Постачає губку для японських і європейських споживачів.

- **США** — компанія TIMET (дочірня структура PCC, що належить до Berkshire Hathaway). Контролює ключові потужності з виробництва губки, злитків й напівфабрикатів.

Інтегровані корпорації

- **Boeing, Airbus, Rolls-Royce** — формують попит на титанові сплави і безпосередньо інтегровані в ланцюги постачання через довгострокові контракти з виробниками губки та зливків.

- **Allegheny Technologies (ATI, США)** — виробництво сплавів і напівфабрикатів із акцентом на оборонний сектор і нафтохімію.

- **RTI International Metals (США, поглинута PCC)** — спеціалізація на медичних імплантах і авіаційних деталях.

Моделі бізнесу

- **Вертикальна інтеграція.** Компанії контролюють увесь цикл: від губки до готових компонентів. Приклади: ВСМПО-АВІСМА, TIMET, Toho Titanium. Переваги: стабільність постачання, відповідність стандартам, вища маржинальність. Недоліки: значні капіталовкладення.

- **Спеціалізація на окремих етапах.** Характерна для Китаю, де більшість виробників зосереджені на губці і напівфабрикатах, без виходу на глобальний ринок авіаційних сплавів.

- **Партнерські альянси.** Виробники укладають довгострокові контракти з авіаційними корпораціями для забезпечення гарантованих поставок (напр., Toho Titanium і Airbus).

- **Моделі «замовник–підрядник».** Використовуються у виробництві титанових деталей для аерокосміки: аутсорсингові компанії виготовляють компоненти за кресленнями великих OEM-корпорацій.

Тенденції.

- Зростання ролі Китаю як найбільшого виробника губки за обмеженої присутності в авіаційному секторі.

- Поглиблення вертикальної інтеграції у США, Японії та ЄС для зменшення залежності від зовнішніх постачальників.

- Розвиток технологій адитивного виробництва, що стимулює попит на титанові порошки і створює новий сегмент ринку.

Висновок.

Глобальний ринок титану характеризується вузьким колом ключових гравців, здатних забезпечити виробництво продукції авіаційного та оборонного рівня. Доступ до цих сегментів можливий лише за умови повної відповідності міжнародним стандартам і довгострокових контрактів з інтегрованими корпораціями.

3.3. ГЛОБАЛЬНІ РИЗИКИ І ВРАЗЛИВОСТІ ЛАНЦЮГІВ

Ланцюги постачання титану мають високу концентрацію виробництва й залежать від обмеженого кола країн і корпорацій. Це створює системні ризики, які посилюються геополітичними й економічними чинниками.

1. Геополітичні ризики.

- Військові конфлікти і санкційна політика безпосередньо впливають на поставки. Приклад — обмеження експорту російської корпорації «ВСМПО-АВІСМА» після 2022 року, що змусило авіаційних виробників переорієнтуватися на Японію та США.
- Концентрація виробництва губки у Китаї (понад 70% світового випуску) створює ризик монопольного впливу на ціноутворення і доступ до ринку.

2. Економічні ризики.

- Висока енергоємність процесу Кролла робить виробництво залежним від цін на електроенергію. У країнах із нестабільними тарифами (Казахстан, Саудівська Аравія) це впливає на собівартість і довгострокові контракти.
- Циклічність попиту в авіаційному секторі призводить до різких коливань цін на губку та злитки. Пандемія COVID-19 у 2020–2021 роках спричинила падіння попиту на 20–25%, зупинивши низку виробничих ліній.

3. Технологічні ризики.

- Залежність від процесу Кролла, який є базовим уже понад 70 років і робить галузь вразливою до інноваційних проривів. Якщо альтернативні методи (електрохімічне відновлення $TiCl_4$, плазмова металургія) доведуть свою економічну ефективність, виробники, які не адаптуються, можуть втратити частку ринку.
- Високі вимоги до сертифікації (AMS, ASTM) ускладнюють доступ нових гравців на авіаційний ринок.

4. Екологічні та соціальні ризики.

- Сульфатний метод виробництва діоксиду титану формує великі обсяги відходів (гіпсових шлаків), що створює ризики для довкілля і соціальної прийнятності проєктів.

- Зростання екологічних стандартів у ЄС і США підвищує бар'єри входу та вимагає від виробників переходу на замкнені цикли й «зелені» технології.

5. Логістичні ризики.

- Значна частина постачання титанових концентратів здійснюється морськими маршрутами. Блокування портів або перебої в судноплаванні (як у Чорному морі після 2022 року) можуть паралізувати експорт із цілих регіонів.
- Обмежена кількість сертифікованих перевізників для чутливих вантажів (сплави авіаційного призначення) створює вузькі місця у глобальній логістиці.

Висновок.

Глобальні ланцюги створення доданої вартості у титановій промисловості є вразливими внаслідок концентрації виробництва, технологічної консервативності і залежності від кількох секторів споживання. Для мінімізації ризиків країни-учасники нарощують диверсифікацію джерел сировини, інвестують у нові технології і створюють стратегічні запаси.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3

Глобальні ланцюги створення доданої вартості у титановій промисловості формуються вузьким колом країн і корпорацій, що контролюють критичні етапи виробництва. Найбільші прибутки генеруються на рівні виробництва сертифікованих сплавів і готових компонентів для авіаційної і медичної галузей, тоді як експорт концентратів дає лише мінімальні вигоди.

Ключові гравці — США, Японія, Китай і Росія — використовують різні бізнес-моделі: від повної вертикальної інтеграції до вузької спеціалізації. Водночас авіаційні корпорації (Boeing, Airbus, Rolls-Royce) є стратегічними замовниками і фактично задають стандарти та структуру ринку.

Висока концентрація виробництва формує системні ризики:

- геополітичні (санкції, воєнні конфлікти, монополізація постачання з боку Китаю);
- економічні (циклічність попиту в авіації, залежність від енергоносіїв);
- технологічні (домінування процесу Кролла, бар'єри для інновацій);
- екологічні (суворі стандарти утилізації відходів і переходу до «зелених» технологій);
- логістичні (залежність від морських шляхів і обмеженої кількості сертифікованих перевізників).

Стратегічні напрями розвитку ринку визначаються трьома факторами:

1. Диверсифікація постачань — пошук нових джерел сировини в Африці та Південній Америці.

2. Технологічні інновації — розробка альтернативних методів виробництва губки та розвиток адитивного виробництва.

3. Екологічна трансформація — перехід до замкнених циклів і зменшення викидів.

Для України цей аналіз означає необхідність руху вгору ланцюгом створення доданої вартості — від експорту концентратів до виробництва губки, сплавів і порошків. Інтеграція з європейськими та американськими партнерами, відновлення та модернізація ЗТМК і підтримка інновацій здатні вивести країну на новий рівень участі у глобальних ланцюгах постачання.

РОЗДІЛ 4.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТИТАНОВОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Майбутнє української титанової промисловості визначається поєднанням трьох чинників: наявності унікальної мінерально-сировинної бази, геополітичних викликів і глобальних тенденцій попиту на титан. Україна належить до небагатьох країн, здатних забезпечити повний виробничий цикл — від видобутку руди до випуску металу і його сполук. Це створює передумови для формування конкурентних переваг, проте реалізація цього потенціалу залежить від масштабної модернізації і залучення інвестицій.

Сучасний стан галузі характеризується скороченням виробництва через війну, втратою частини виробничих потужностей та складнощами з експортною логістикою. Зовнішній попит, сформований авіаційною, оборонною та медичною промисловістю, зростає, що відкриває для України унікальне вікно можливостей, адже ЄС і США шукають надійних постачальників критичної сировини й готових матеріалів для зменшення залежності від Китаю та Росії.

Подальший розвиток галузі має спиратися на три ключові пріоритети:

1. Модернізація виробничої інфраструктури — відновлення і технічне переоснащення Запорізького титано-магнієвого комбінату, автоматизація гірничо-збагачувальних підприємств.

2. Інтеграція у глобальні ланцюги доданої вартості — перехід від експорту концентратів до виробництва губки, злитків, порошків і сертифікованих сплавів.

3. Екологічна і технологічна трансформація — впровадження «зелених» технологій, цифровізація виробництва і розвиток інноваційних напрямів, зокрема адитивного виробництва.



4.1. НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТИТАНУ

Українська титанова галузь має значний ресурсний потенціал, але виробничі потужності залишаються застарілими й енергоємними. Для відновлення й розвитку необхідні комплексні інвестиції, спрямовані на модернізацію обладнання, впровадження енергоощадних технологій і підвищення екологічних стандартів.

Основні напрями інвестицій:

1. Видобуток і збагачення руд

- модернізація дробильно-збагачувальних фабрик;
- впровадження автоматизованих систем контролю якості руди;
- розвиток нових кар'єрів на базі перспективних родовищ (Житомирська, Кіровоградська області).

2. Виробництво титанової губки

- реконструкція Запорізького титано-магнієвого комбінату;
- заміна печей процесу Кролла на індукційні реактори для зменшення енергоспоживання на 15–20%;
- розвиток альтернативних технологій (електролітичне відновлення $TiCl_4$).

3. Переробка та випуск напівфабрикатів

- встановлення сучасних електронно-променевих і вакуумно-дугових печей;
- розширення потужностей із виробництва злитків і листового прокату;
- створення ліній порошкової металургії для адитивних технологій (за прикладом ТОВ «Велта», яке отримало вже третій патент США на безвідходний соляний процес одержання порошку і вже запускає пілотну лінію 0,4 т/міс.).

4. Інфраструктура та логістика

- розвиток залізничних коридорів і дунайських портів для експорту;
- створення складів і логістичних хабів поблизу підприємств;
- цифровізація процесів відстеження постачання (supply chain traceability).

Орієнтовні інвестиційні потреби (до 2030 року):

- видобуток і збагачення — 0,8–1 млрд дол. США;
- виробництво губки — 1,5–2 млрд дол. США;
- випуск напівфабрикатів і порошоків — 1,2–1,5 млрд дол. США;
- логістика та інфраструктура — 0,5 млрд дол. США.

Джерела фінансування:

- міжнародні фінансові інституції (Світовий банк, ЄБРР, ЄІБ);
- партнерські програми з ЄС та США в межах **Critical Raw Materials Act** та Угоди між Урядом України та Урядом США про створення Американсько-Українського інвестиційного фонду відбудови;
- приватні інвестиції, зокрема через публічно-приватні партнерства;
- програми пільгового кредитування титанової галузі.

Ефективність інвестицій у модернізацію доцільно оцінювати за системою показників продуктивності праці, ресурсної та енергоефективності, що деталізовані у Додатку В. Це дасть змогу пов'язати інвестиційні рішення з реальними результатами трансформації галузі.

Висновок.

Модернізація української титанової галузі неможлива без системних інвестицій. Ключовим завданням є відновлення і модернізація ЗТМК як центральної ланки виробництва губки і формування умов для випуску продукції з високою доданою вартістю. Це дасть змогу Україні перейти від статусу постачальника сировини до інтегрованого учасника глобального ринку.

4.2. ЕКОЛОГІЧНА І ТЕХНОЛОГІЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ

Стійкість титанової галузі України залежить не лише від модернізації виробництва, а й від здатності адаптуватися до нових екологічних стандартів і технологічних трендів. Посилення регуляторних вимог у ЄС і США робить перехід до «чистих» технологій передумовою доступу на ключові ринки.

Екологічні пріоритети:

- перехід до замкнених циклів у виробництві титанової губки (повторне використання Mg і Cl);
- впровадження систем очищення стічних вод і зменшення кислотних відходів на ГЗК;
- рекультивація земель після завершення гірничих робіт;
- моніторинг викидів й інтеграція принципів ESG у корпоративне управління.

Технологічні трансформації:

1. Енергоефективність. Використання індукційних реакторів й оптимізація теплових процесів дають змогу знизити енерговитрати на 15–20%.

2. Альтернативні методи виробництва. Дослідження електролітичного відновлення $TiCl_4$ і плазмової металургії створюють перспективи заміни процесу Кролла.

3. Порошкова металургія й адитивне виробництво. Розвиток ліній для виробництва титанових порошків забезпечить інтеграцію до нових сегментів світового ринку.

4. Цифровізація виробництва. Використання технологій big data, штучного інтелекту й IoT для моніторингу обладнання, прогнозування відмов й оптимізації логістики.

5. Рециклінг. Збільшення частки титанових відходів у виробничому циклі (до 20–25% загального обсягу) знижує залежність від первинної сировини і витрати на енергоресурси.

Міжнародний контекст.

У межах Green Deal ЄС та американської програми Inflation Reduction Act фінансова підтримка спрямовується на «зелені» технології та матеріали з низьким вуглецевим слідом. Для України участь у цих програмах або їх адаптація і створення аналогічних національних програм може стати каталізатором трансформації титанової індустрії.

Рециклінг.

Варто відзначити, що відходи видобувної промисловості становлять найбільшу частку від усіх відходів в Україні. Вони утворюються в процесі видобутку, збагачення і переробки корисних копалин. Станом на 2019 рік в Україні налічувалося 465 хвостосховищ. Водночас із 6 042 млн т облікованих на той час відходів, 5 404 млн т становлять відходи видобувної і металургійної (переробної) промисловості, або 320 хвостосховищ. Також 75% об'єктів розташовані на півдні України, що внаслідок бойових дій збільшує ризики аварій техногенного характеру. Більше половини утворених відходів після попереднього відсортовування або поділу на фракції можна було б знову переробити як мінеральну сировину. Також їх можна було б реалізувати іншим галузям економіки і використати повторно (як-от щебінь після видобутку руди чи золу для цементу після видобутку вугілля).

Висновок.

Екологічна і технологічна модернізація є не опцією, а необхідністю. Від здатності України впровадити енергоощадні і «чисті» рішення залежить її інтеграція до європейського й американського ринків, а також зміцнення позицій у глобальній конкуренції.

4.3. МІЖНАРОДНА СПІВПРАЦЯ Й ІНТЕГРАЦІЯ У ГЛОБАЛЬНІ РИНКИ

Майбутнє української титанової галузі значною мірою залежить від рівня інтеграції у глобальні ланцюги постачання і розвитку стратегічних партнерств. В умовах геополітичної нестабільності і воєнних ризиків саме міжнародна співпраця забезпечує доступ до фінансування, технологій і стабільних ринків збуту.

Ключові напрями співпраці:

1. Європейський Союз.

- Україна зарахована до пріоритетного переліку партнерів у рамках Critical Raw Materials Act.
- ЄС розглядає Україну як джерело критичних мінералів для зменшення залежності від Китаю та Росії.
- Можливості: довгострокові контракти на постачання, спільні інвестиції у виробництво губки і порошків, доступ до фінансових інструментів ЄІБ і ЄБРР.

2. США.

- Партнерство у сфері критичних матеріалів передбачає інтеграцію українських ресурсів у ланцюги для авіаційної й оборонної промисловості.
- Перспективні напрями: спільні науково-дослідні й дослідно-конструкторські роботи у сфері адитивних технологій, сертифікація української губки і сплавів для американських стандартів AMS.

3. Міжнародні фінансові інституції.

- Світовий банк, ЄБРР, МФК та інші структури вже підтримують проекти у сфері енергетики й інфраструктури, що створює передумови для інвестицій у титанову промисловість.
- Особливий акцент робиться на «зелених» технологіях й ESG-стандартах.

4. Приватні корпорації.

- Співпраця з глобальними виробниками (Boeing, Airbus, Rolls-Royce, Chemours) можлива у форматі довгострокових постачань і локалізації виробництва в Україні.
- Перспективними є проекти у сфері порошкової металургії для 3D-друку та медичних компонентів.

Виклики інтеграції:

- потреба у відповідності міжнародним стандартам якості і сертифікації;
- високі ризики для інвесторів внаслідок війни;
- обмеженість сучасних виробничих потужностей.

Висновок.

Міжнародна співпраця є вирішальним чинником розвитку титанової галузі України. Створення стратегічних альянсів із ЄС і США, залучення фінансування від міжнародних інституцій і співпраця з глобальними корпораціями дадуть змогу Україні перейти від сировинної моделі до виробництва продукції з високою доданою вартістю і посісти місце серед провідних учасників світового ринку титану.



4.4. УКРАЇНСЬКИЙ СИРОВИННИЙ ТИТАНОВИЙ КЛАСТЕР

Кластер у сфері критичних мінералів — це територіально зосереджена група підприємств, що охоплює весь виробничий ланцюг: від видобутку руди й збагачення концентратів до виробництва губки, злитків, порошків і готових компонентів. Він функціонує за спеціальним правовим режимом, має спільну інфраструктуру і забезпечує прозорі правила для інвесторів.

Для України створення сировинного титанового кластера є ключовим інструментом переходу від сировинного експорту до виробництва продукції з високою доданою вартістю. Кластер дасть змогу знизити інвестиційні ризики завдяки спеціальним правилам доступу, міжнародному арбітражу і централізованій інфраструктурі, а також забезпечить відповідність стандартам ЄС і США у сфері сертифікації й екології.

Очікувані вигоди від створення кластера:

- Залучення довгострокових інвестицій і передових технологій.
- Диверсифікація експорту від концентратів до сертифікованих сплавів, порошків і виробів для авіакосмічної, оборонної та медичної промисловості.
- Формування локальних ланцюгів постачання, зростання зайнятості і податкових надходжень.
- Запровадження єдиних стандартів екологічної відповідальності й енергоефективності.

Ключові елементи дизайну кластера:

- Розбудова інфраструктури (залізнична, портова і дорожня логістика, енергетика, водопостачання);
- Податкові і митні стимули для глибокої переробки;
- Забезпечення доступу до сировини для резидентів за ринковими формулами;
- Спрощення процедур ліцензування і дозвільної системи;
- Застосування міжнародного арбітражу для захисту інвесторів;
- Створення сертифікаційного і дослідницького центру для порошкової металургії й адитивних технологій.

Міжнародний досвід підтверджує ефективність такої моделі: Індонезія формує нікелеві кластери з державно-приватним співфінансуванням, Китай розвиває кластер рідкісноземельних металів у Баотоу, а ЄС у межах Critical Raw Materials Act визначає стратегічні проєкти, що функціонують як вузлові центри переробки. Для України створення титанового кластера може стати практичним кроком до закріплення позицій у глобальних ланцюгах критичних мінералів.



ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 4

Перспективи розвитку української титанової галузі визначаються поєднанням ресурсного потенціалу і глобальних ринкових тенденцій. Попри суттєві виклики, спричинені війною, зупинкою окремих підприємств і логістичними обмеженнями, Україна зберігає шанс трансформувати свою роль у світовій титановій промисловості.

Ключові напрями розвитку:

• **Модернізація виробництва.** Відновлення Запорізького титано-магнієвого комбінату й оновлення гірничо-збагачувальних підприємств дасть змогу забезпечити стабільне виробництво губки й концентратів.

• **Технологічна й екологічна трансформація.** Перехід до енергоощадних і «зелених» технологій, розвиток порошкової металургії й адитивного виробництва сприятимуть виходу на нові сегменти ринку.

• **Міжнародна інтеграція.** Партнерства з ЄС і США, підтримка міжнародних фінансових інституцій і співпраця з глобальними корпораціями створюють основу для переходу від сировинної моделі до виробництва продукції з високою доданою вартістю.

Стратегічне завдання України — рух «вгору» ланцюгом створення доданої вартості — від експорту концентратів до сертифікованих сплавів, порошків і готових виробів. Виконання цього завдання потребує масштабних інвестицій, стабільного нормативно-правового середовища і гарантій безпеки для міжнародних партнерів.

Отже, титанова галузь може стати рушієм економічного відновлення України і її інтеграції у глобальну економіку. Успішна модернізація і міжнародна кооперація здатні перетворити країну з постачальника сировини на стратегічного виробника критично важливих матеріалів для високотехнологічних секторів.



РОЗДІЛ 5. ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Титан є одним із ключових стратегічних матеріалів сучасної економіки, а його ринок характеризується поєднанням високих технологічних вимог і геополітичних чинників. Проведений аналіз дає змогу окреслити основні тенденції, виклики і можливості як на глобальному рівні, так і для України.

Світовий ринок титану зростає під впливом розвитку авіаційної, оборонної, медичної та хімічної промисловості. Виробництво концентратів, губки і діоксиду титану характеризується високою концентрацією в обмеженій кількості країн, що створює ризики для глобальних ланцюгів постачання. Поступова екологічна й технологічна трансформація галузі створює нові можливості для інноваційних гравців, здатних запропонувати енергоефективні й екологічно безпечні рішення.

Для України титанова галузь має стратегічне значення як джерело економічного зростання, інтеграції до міжнародних ринків і зміцнення позицій у сфері критичних мінералів. Водночас її розвиток обмежується застарілими технологіями, воєнними ризиками і залежністю від експорту сировини з низькою доданою вартістю.

Наступний розділ узагальнює ключові висновки дослідження і формулює рекомендації для державної політики, міжнародних партнерів і бізнесу.



5.1. ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Глобальний ринок титану зростає. Попит визначається передусім авіаційною промисловістю (понад 50%), промисловими застосуваннями ($\approx 25\%$) та оборонним сектором. Очікується подальше збільшення споживання внаслідок розвитку авіаперевезень, медичних технологій і адитивного виробництва.

2. Виробництво титанової губки вкрай концентроване і ця тенденція зберігається. Китай контролює понад 70% світового випуску, Японія, Росія і США займають нішу виробників високоякісної продукції для авіаційного сектору. Це створює ризики монополізації і залежності від обмеженого кола постачальників.

3. Технологічна база залишається інерційною: нові технології впроваджуються повільно, що надає перевагу «раннім новаторам». Більшість виробництва ґрунтується на процесі Кролла, який є енергоємним й екологічно вразливим. Інноваційні альтернативи (електролітичні і плазмові методи) перебувають на стадії досліджень і пілотних проєктів.

4. Екологічні стандарти визначають конкурентоспроможність і створюють бар'єри для «входу» в галузь і її подальшого розвитку. Перехід на «зелені» технології і замкнені цикли виробництва стає обов'язковою умовою доступу до ринків ЄС і США.

5. Україна має унікальний ресурсний потенціал. Запаси титанових руд оцінюються приблизно у 20% світових. Основні активи — Іршанський і Вільногірський ГЗК і приватна компанія «Велта». Це формує базу для розвитку інтегрованого виробництва.

6. Втрати і виклики для України є суттєвими. Зупинка Запорізького титано-магнієвого комбінату і втрата «Кримського титану» призвели до розриву технологічного циклу. Експорт концентратів скоротився більш ніж удвічі, логістика ускладнена через війну

7. Можливості для України все ще є. ЄС і США розглядають країну як стратегічного партнера у постачанні критичних мінералів. Міжнародна фінансова підтримка і партнерства у сфері інновацій відкривають перспективи для створення вертикально інтегрованого виробництва.

8. Стратегічний напрям розвитку залишається досяжним. Для підвищення економічної вигоди і зміцнення позицій у глобальній конкуренції Україна має перейти від сировинної моделі до виробництва продукції з високою доданою вартістю — губки, сплавів, порошків для адитивного виробництва.

Реалізацію цих можливостей доцільно відстежувати за системою кількісних і якісних індикаторів (Додаток В), яка охоплює виробничі, економічні, соціальні, інноваційні й екологічні параметри.



5.2. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ УРЯДУ УКРАЇНИ

1. Відновлення і модернізація виробництва

- Запустити програму реконструкції Запорізького титано-магнієвого комбінату з акцентом на енергоефективність і заміну застарілого обладнання.
- Створити стимули для приватних інвестицій у розвиток гірничо-збагачувальних підприємств (Іршанський, Вільногірський ГЗК, ТОВ «Велта») із впровадженням автоматизації і сучасних систем екологічного контролю.

2. Розвиток ланцюга доданої вартості

- Перейти від експорту концентратів до виробництва губки, зливків і сертифікованих сплавів.
- Інвестувати у створення ліній порошкової металургії для адитивного виробництва.
- Розвивати виробництво медичних і аерокосмічних компонентів, орієнтованих на стандарти AMS та ASTM.

3. Інтеграція в глобальні ринки

- Використати положення Critical Raw Materials Act ЄС для укладення довгострокових контрактів на постачання, зокрема шляхом участі у стратегічних проєктах, які оголошуються.
- Поглиблювати співпрацю зі США у сфері сертифікації титанової губки і сплавів для авіаційного й оборонного секторів.
- Створювати стратегічні альянси з Boeing, Airbus, Rolls-Royce й іншими корпораціями.

4. Створення українського сировинного титанового кластера

- Ухвалити спеціальний закон про кластер із пільговим інвестиційним режимом, спрощеними процедурами дозвільної системи і можливістю міжнародного арбітражу.
- Розбудувати спільну інфраструктуру (енергетичні потужності, водозабезпечення, залізнична і портова логістика).
- Забезпечити прозорий доступ до сировини для резидентів кластера за ринковими формулами і квотами.
- Створити сертифікаційний і дослідницький центр для порошкової металургії і адитивних технологій (AMS/ASTM).
- Запровадити державно-приватні спільні підприємства для «якірних» проєктів і закріпити вимоги до локалізації виробництва.

- Узгодити кластер із положеннями Critical Raw Materials Act ЄС (статус Strategic Project) й ініціативами США щодо критичних мінералів.

5. Фінансування й інституційна підтримка

- Залучити кошти міжнародних фінансових організацій (Світовий банк, ЄБРР, ЄІБ) для модернізації виробництва.
- Запровадити публічно-приватні партнерства для розвитку нових родовищ і логістичної інфраструктури.
- Розробити державну програму підтримки інновацій у титановій галузі, створивши відповідні умови для розвитку технологічних парків, R&D-центрів і сировинних кластерів. Інструментами такої підтримки можуть бути фіскальне стимулювання, скасування імпорتنих мит і ПДВ, заміна податку на прибуток податком на виведений капітал, кредитне стимулювання, надання державних гарантій, експортна підтримка і популяризація сировинного титанового кластеру тощо.

6. Екологічна трансформація

- Інтегрувати принципи ESG у корпоративне управління титанових підприємств.
- Перейти до замкнених циклів виробництва з мінімізацією відходів та зниженням викидів.
- Розробити стандарти екологічної рекультивації земель після завершення видобутку.

7. Інновації і цифровізація

- Розвивати співпрацю з міжнародними науковими центрами у сфері електролітичних і плазмових методів виробництва титану.
- Впроваджувати цифрові системи управління виробничими процесами, моніторингу обладнання і прогностичного технічного обслуговування.
- Стимулювати створення українських R&D-хабів у сфері порошкової металургії та адитивних технологій.

8. Законодавчі і регуляторні зміни

- **Кодекс про надра** — спростити процедури видачі спеціальних дозволів, запровадити сучасні геоінформаційні системи і підвищити вимоги до розкриття інформації.

- **Законодавство з оцінки впливу на довкілля (ОВД)** — адаптувати до практик ЄС, додати спеціальні процедури для проєктів у сфері критичних мінералів.

- **Гармонізація із законодавством ЄС** — інтегрувати положення Critical Raw Materials Act і директив у сфері ESG-звітності до українських правил.

• **Публічно-приватне партнерство** — вдосконалити законодавство для гірничої промисловості, зокрема у частині концесій і довгострокових інвестиційних угод.

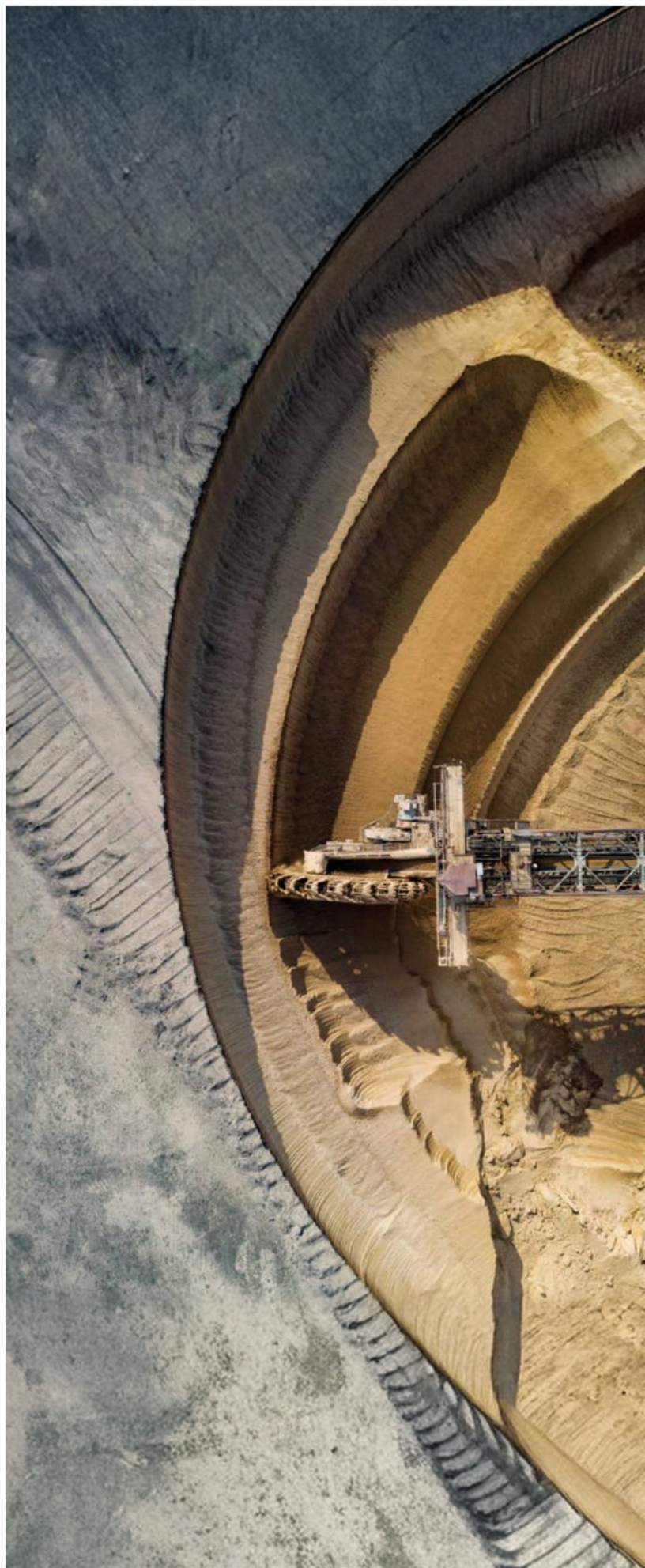
• **Реформа регулятора (Держгеонадра)** — цифровізувати процеси, впровадити прозору систему обліку запасів і онлайн-контролю за виконанням ліцензійних умов.

• **Інноваційні напрями** — створити правову базу для розвитку порошкової металургії й адитивних технологій, включно з процедурою сертифікації продукції за стандартами AMS і ASTM.

Реалізація цих рекомендацій дозволить Україні зміцнити позиції у світовій титановій промисловості, зменшити залежність від експорту сировини й інтегруватися у високотехнологічні сегменти глобального ринку.

Реалізація державної політики у сфері титану повинна супроводжуватися систематичним моніторингом індикаторів ефективності (Додаток В). Це дасть змогу відстежувати прогрес у створенні доданої вартості, підвищенні зайнятості, розвитку інновацій і переході до енергоощадних і екологічно безпечних технологій.

Пропозиції щодо конкретних змін у законодавчій рамці наведено у Додатку С.



5.3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ МІЖНАРОДНИХ ПАРТНЕРІВ

1. Підтримка інтеграції України у глобальні ланцюги постачання

- Додати українські підприємства до міжнародних програм постачання критичних мінералів.
- Створювати довгострокові контракти на закупівлю титанової продукції з українських джерел.
- Забезпечити пріоритетний доступ України до програм Critical Raw Materials Act (ЄС) й ініціатив США у сфері критичних матеріалів.

2. Фінансова і технічна допомога

- Залучати міжнародні фінансові інституції (ЄБРР, ЄІБ, Світовий банк) для фінансування модернізації ЗТМК і розвитку інфраструктури.
- Надавати технічну допомогу у сфері сертифікації українських підприємств за стандартами AMS та ASTM.
- Підтримувати екологічні проєкти, зокрема з рекультивації земель і переходу до «зелених» технологій.

3. Спільні інвестиційні проєкти

- Створювати спільні підприємства з українськими компаніями для виробництва губки, сплавів і порошків.
- Локалізувати виробництво компонентів для авіаційної, медичної й оборонної промисловості на території України.
- Розвивати технологічні хаби для адитивного виробництва й порошкової металургії у співпраці з українськими науковими центрами.

4. Політична і безпекова підтримка

- Гарантувати страхування ризиків для іноземних інвесторів в Україні через міжнародні механізми (наприклад, MIGA).
- Підтримувати дипломатичні і торговельні домовленості, що забезпечують стабільність постачання українського титану.
- Сприяти інтеграції України до європейських і трансатлантичних інституційних механізмів у сфері критичних мінералів.

5. Науково-технічне співробітництво

- Поглиблювати партнерство у сфері досліджень і розробок нових технологій виробництва титану.
- Забезпечувати трансфер технологій і спільні програми навчання українських інженерів і науковців.
- Підтримувати участь України у програмах Horizon Europe й інших міжнародних наукових ініціативах.

Для міжнародних партнерів інвестиції у титанову галузь України є не лише економічною можливістю, а й стратегічним внеском у диверсифікацію глобальних постачань критичних матеріалів. Спільні зусилля дадуть змогу зміцнити економічну стійкість України і гарантувати стабільність світових ланцюгів постачання.



5.4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ БІЗНЕСУ

1. Диверсифікація діяльності

- Інвестувати не лише у видобуток титановмісних руд і їх збагачення, а й у виробництво губки, сплавів і порошків для адитивних технологій.
- Розглядати варіанти співпраці з міжнародними компаніями для доступу до нових ринків і сертифікаційних стандартів.

2. Інновації і технологічний розвиток

- Впроваджувати цифрові рішення для моніторингу виробництва й керування ланцюгами постачання.
- Розвивати R&D-напрями у сфері електролітичних і плазмових методів виробництва титану.
- Інвестувати у створення ліній порошкової металургії з орієнтацією на авіаційну, медичну й оборонну галузі.

3. Орієнтація на міжнародні стандарти

- Проводити сертифікацію продукції відповідно до AMS та ASTM для забезпечення виходу на авіаційний і медичний ринки.
- Впроваджувати системи управління якістю ISO 9001 й екологічного менеджменту ISO 14001.

4. Екологічна відповідальність

- Мінімізувати вплив на довкілля шляхом переходу до замкнених циклів й ефективної утилізації відходів.
- Інтегрувати ESG-принципи у корпоративні стратегії для підвищення інвестиційної привабливості.

5. Ризик-менеджмент

- Використовувати страхові і фінансові інструменти для зниження ризиків, пов'язаних із війною і логістичними обмеженнями.
- Формувати стратегічні запаси сировини і розглядати можливість територіальної диверсифікації виробництва.

6. Співпраця з науковими установами

- Розширювати співпрацю з українськими і міжнародними науковими центрами.
- Фінансувати прикладні дослідження у сфері металургії, адитивних технологій й екологічно чистих виробництв.

Для бізнесу ключове завдання полягає у переході від традиційної сировинної моделі до інноваційної й інтегрованої. Компанії, які інвестуватимуть у технології, стандарти й екологію, отримають конкурентну перевагу на світовому ринку і сприятимуть закріпленню України у статусі стратегічного постачальника титанової продукції.



ЗАВЕРШАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Титанова промисловість є стратегічним сектором глобальної економіки, що поєднує високотехнологічний попит, геополітичну значущість і потребу в екологічно стійкому розвитку. Аналіз світових тенденцій показує: попит на титан зростає, ринок залишається висококонцентрованим, а ключові прибутки формуються на рівні сертифікованих сплавів і готових компонентів для авіаційної, оборонної і медичної галузей.

Україна має унікальні запаси титанових руд, але наразі реалізує здебільшого сировинну модель розвитку. Війна суттєво обмежила виробничі й експортні можливості, проте водночас відкрила вікно можливостей для стратегічної інтеграції з ЄС і США, які активно диверсифікують джерела постачання критичних мінералів.

Ключове завдання для України — здійснити перехід від експорту концентратів до виробництва продукції з високою доданою вартістю: титанової губки, сертифікованих сплавів, порошків для адитивного виробництва.

Це вимагає:

- масштабних інвестицій у модернізацію виробничих потужностей;
- впровадження «зелених» технологій і цифрових рішень;
- розвитку партнерств із міжнародними корпораціями й науковими центрами;
- створення умов для інтеграції у глобальні ланцюги постачання.

Для міжнародних партнерів участь у відновленні й розвитку української титанової галузі — це не лише інвестиція з високим економічним потенціалом, а й внесок у стабільність світових ланцюгів постачання стратегічних матеріалів. Для бізнесу — це шанс закріпитися у сегменті, який демонструє стале зростання та високі бар'єри входу.

Таким чином, титанова галузь України може стати одним із ключових рушіїв економічного відновлення країни, сприяти інтеграції у європейський і трансатлантичний простір і закріпити її позиції як стратегічного постачальника критично важливих матеріалів для XXI століття.



ДОДАТОК А.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

Наведений перелік охоплює авторитетні джерела, використані під час підготовки цього дослідження. До нього включено офіційні статистичні бази даних, нормативні акти Європейського Союзу, міжнародні звіти визнаних організацій (USGS, МВФ, Світовий банк, МЕА, ОЕСР, установи ООН), а також провідні галузеві стандарти та матеріали авторитетних медіа. У сукупності ці джерела забезпечують емпіричну та регуляторну основу для аналізу світової та української титанової галузі.

Abuodha, J. O. Z. (2002). Environmental Impact Assessment of the Proposed Titanium Mining Project in Kwale District, Kenya. *Marine Georesources & Geotechnology*, 20(3), 199–207. <https://doi.org/10.1080/03608860290051895>

Additive Manufacturing Media. "AP&C Providing Titanium Powders to Airbus." December 2, 2021. <https://www.additivemanufacturing.media/news/apc-providing-titanium-powders-to-airbus>

Ahsan, Md Manjurul, Yingtao Liu, Shivakumar Raman, and Zahed Siddique. "Digital Twins in Additive Manufacturing: A Systematic Review." arXiv preprint arXiv:2409.00877, 2024. <https://arxiv.org/abs/2409.00877>

Airports Council International. Airports Council International. 2025. <https://aci.aero/>
Al Jazeera. "Mapping Ukraine's Rare Earth and Critical Minerals." February 28, 2025. <https://www.aljazeera.com/news/2025/2/28/mapping-ukraines-rare-earth-and-critical-minerals>

Al Jazeera. "Mapping Ukraine's Rare Earth and Critical Minerals." February 28, 2025. <https://www.aljazeera.com/news/2025/2/28/mapping-ukraines-rare-earth-and-critical-minerals>

Andy Home. "Aerospace Industry Scrambles to Deal with Fallout from Huge U.S. Factory Fire." Reuters, February 27, 2025. <https://www.reuters.com/business/aerospace-defense/aerospace-industry-scrambles-deal-with-fallout-huge-us-factory-fire-2025-02-27/>

Anti-Corruption Action Centre. Analysis | Generals of titanium ores. Who controls Ukrainian strategic deposits? September 18, 2023.

<https://antac.org.ua/en/news/analysis-generals-of-titanium-ores-who-controls-ukrainian-strategic-deposits/>

Argus Media. "Global Supply Shifts Spur New China Titanium Sponge Pricing." January 28, 2025. <https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/market-insight-papers/global-supply-shifts-spur-new-china-titanium-sponge-pricing>

ASTM Committee F42. Standard Specification for Additive Manufacturing Titanium-6 Aluminum-4 Vanadium ELI (Extra Low Interstitial) with Powder Bed Fusion (ASTM F3001-14R21). ASTM International, October 22, 2021. <https://doi.org/10.1520/F3001-14R21>

Boeing. "Boeing and VSMPO-AVISMA Agree on Titanium Supplies and Technology Collaboration for Years to Come." Boeing Investor News Release, November 15, 2021. <https://investors.boeing.com/investors/news/press-release-details/2021/Boeing-and-VSMPO-AVISMA-Agree-on-Titanium-Supplies-and-Technology-Collaboration-for-Years-to-Come/default.aspx>

Bolzoni, L., Ruiz-Navas, E.M., Neubauer, E., and Gordo, E. "Inductive Hot-Pressing of Titanium and Titanium Alloy Powders." *Materials Chemistry and Physics* 131, no. 3 (2012): 672–679. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.10.034>

Bureau of Industry and Security. "Publication of a Report on the Effect of Imports of Titanium Sponge on the National Security." Federal Register, October 26, 2021. <https://www.federalregister.gov/documents/2021/10/26/2021-23301/publication-of-a-report-on-the-effect-of-imports-of-titanium-sponge-on-the-national-security-an>

CarbonCredits.com. "EU Carbon Prices Surge to 100 Euros per Tonne." February 21, 2023. <https://carboncredits.com/eu-carbon-prices-surge-to-100-euros/>

Carlson, Scott. "Society's Biggest Risks, Ranked by the World's Leading Experts." Time, December 29, 2020. <https://time.com/6248534/society-biggest-risks-climate-world-experts/>

Cedefop. Skillset and Match: Cedefop's Magazine Promoting Learning at Work, No 16, May 2019. Luxembourg: Publications Office. https://www.cedefop.europa.eu/files/9138_en.pdf

Centers for Disease Control and Prevention. "Foundry Safety." NIOSH Workplace Safety and Health Topic Page. Accessed July 10, 2025. <https://www.cdc.gov/niosh/topics/foundry/default.html>

Chen J., Zhang W., Li H., Li W., and Zhao D. "Recent Advances in TiO₂-Based Catalysts for N₂ Reduction Reaction." *SusMat* 1 (2021): 174–193. <https://doi.org/10.1002/sus2.13>

Chen Lin. "Boeing Not Concerned about Titanium Supply, Watching Other Pinch Points." Reuters, February 14, 2022. <https://www.reuters.com/business/aerospace-defense/boeing-confident-working-through-any-disruption-titanium-supplies-exec-2022-02-14/>

Christopher Bing and Stephanie Kelly. "Cyber Attack Shuts Down U.S. Fuel Pipeline 'Jugular,' Biden Briefed." Reuters, May 8, 2021. <https://www.reuters.com/technology/colonial-pipeline-halts-all-pipeline-operations-after-cybersecurity-attack-2021-05-08/>

COST Association. European Cooperation in Science and Technology (COST). 2025. <https://www.cost.eu/>

CSIRO. "TiRO®—Direct Titanium Powder Production." Factsheet, 2023. <https://www.csiro.au/-/media/Industry/TiRO-Process-Factsheet.pdf>

Directive (EU) 2022/2464 of 14 December 2022 (Corporate Sustainability Reporting Directive). Official Journal of the European Union L 322. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2022/2464/oj>

Directive (EU) 2024/1785 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 Amending Directive 2010/75/EU on Industrial Emissions and Council Directive 1999/31/EC on the Landfill of Waste. Official Journal of the European Union L 178. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1785/oj>

Directive 2000/60/EC Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy (Water Framework Directive). Official Journal L 327.

Directive 2008/98/EC on Waste (Waste Framework Directive), as Amended by Directive 2018/851/EU. Official Journal L 150.

Doblin, Christian, David Freeman, and Matthew Richards. "The TiRO™ Process for the Continuous Direct Production of Titanium Powder." *Key Engineering Materials* 551 (2013): 37–43. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.551.37>

Doblin, Christian. "Ongoing Development of the TiRO™ Process: Continuous Direct Titanium Powder Production." *Proceedings of the World Titanium Conference, Atlanta, 2012*. https://cdn.ymaws.com/titanium.org/resource/resmgr/2010_2014_papers/DoblinChristian_2012.pdf

Domingo, Mario, and Ana María Camacho. "The Use of Titanium in Additive Manufacturing: A Review." *Additive Manufacturing* 45 (2021): 102015. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102015>

EIT RawMaterials. *Developing Raw Materials into a Major Strength for Europe*. 2024. <https://eitrawmaterials.eu/>

Ellen MacArthur Foundation. *Exploring the Circular Economy Opportunity for Critical Minerals*. June 23, 2025. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/critical-minerals/overview>

Ember. *European Electricity Review 2025*. January 22, 2025. https://ember-energy.org/app/uploads/2025/01/EE_R_2025_22012025.pdf

Encyclopaedia Britannica. "Kroll Process." n.d. <https://www.britannica.com/technology/Kroll-process>

European Agency for Safety and Health at Work. *Occupational Safety and Health in Europe – State and Trends 2023: Summary*. 2023. https://osha.europa.eu/sites/default/files/Summary_OSH_in_Europe_state_trends.pdf

European Bank for Reconstruction and Development. *The EBRD in Ukraine*. 2025. <https://www.ebrd.com/home/what-we-do/where-we-invest/ukraine.html>

European Centre for the Development of Vocational Training (Cedefop). *Metal, Machinery, and Related Trades Workers: Skills, Opportunities, and Challenges (2023 Update)*. December 19, 2023. <https://www.cedefop.europa.eu/en/data-insights/metal-machinery-and-related-trades-workers-skills-opportunities-and-challenges-2023-update>

European Commission, Joint Research Centre. "Titanium Metal – Raw Materials Information System (RMIS)." 2023. <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/rmp/Titanium%20metal>

European Commission. "Revised Industrial Emissions Directive Comes into Effect." Directorate-General for Environment, August 2, 2024. https://environment.ec.europa.eu/news/revised-industrial-emissions-directive-comes-effect-2024-08-02_en

European Commission. 2024 Carbon Market Report: A Stable and Well-Functioning Market Driving Emissions Down in Power and Industry. November 19, 2024. https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/2024-carbon-market-report-stable-and-well-functioning-market-driving-emissions-power-and-industry-2024-11-19_en

European Commission. Circular Economy Action Plan. March 2020. https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en

European Commission. Circular Economy Action Plan. March 2020. https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en

European Commission. Electricity Price Statistics. Eurostat, April 2025. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics

European Commission. Employment Multipliers in the EU Metal Industries. Eurostat, 2025. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Employment_multipliers_in_the_EU_metal_industries

European Commission. EU Emissions Trading System (EU ETS). 2025. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en

European Commission. EU Taxonomy for Sustainable Activities. https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en

European Commission. Horizon Europe: The EU's Key Funding Programme for Research and Innovation. Directorate-General for Research and Innovation, 2025. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en

European Commission. Industrial and Livestock Rearing Emissions Directive (IED 2.0). Directorate-General for Environment, August 4, 2024. https://environment.ec.europa.eu/topics/industrial-emissions-and-safety/industrial-and-livestock-rearing-emissions-directive-ied-20_en

European Commission. Industrial Producer Price Index Overview. Eurostat, February 2025. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Industrial_producer_price_index_overview

European Commission. Natural Gas Price Statistics. Eurostat, April 2025. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Natural_gas_price_statistics

European Commission. Titanium Metal: Impact Assessment for Supply Security. JRC129594. Joint Research Centre, June 16, 2022. https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/220616_Briefing_Titanium.pdf

European Commission. Waste Framework Directive. Accessed July 10, 2025. https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en

European Commission. Water Framework Directive. Accessed July 10, 2025. https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive_en

European Powder Metallurgy Association. EPMA Association. Accessed July 10, 2025. <https://www.epma.com/>
Feng Gao, Zuoren Nie, Danpin Yang, Boxue Sun, Yu Liu, Xianzheng Gong, and Zhihong Wang. "Environmental Impacts Analysis of Titanium Sponge Production Using Kroll Process in China." *Journal of Cleaner Production* 174 (2018): 771–779. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.240>

Global Reporting Initiative. GRI Sustainability Reporting Standards. <https://www.globalreporting.org/standards/>

GMK Center. "Ukrainian Titanium: The Export of Titanium Ores from Ukraine Decreased by 42% y/y in 2022." February 2, 2023. <https://gmk.center/en/posts/ukrainian-titanium-the-export-of-titanium-ores-from-ukraine-decreased-by-42-y-y-in-2022/>

Home, Andy. "Europe Struggles to Break Russia's Titanium Grip." Reuters, September 24, 2024. <https://www.reuters.com/markets/commodities/europe-struggles-break-russias-titanium-grip-andy-home-2024-09-24/>

Home, Andy. "Europe's Magnesium Crunch Poses Another Carbon Conundrum." Reuters, October 26, 2021. <https://www.reuters.com/business/energy/europes-magnesium-crunch-poses-another-carbon-conundrum-andy-home-2021-10-26/>

IEA. Building the Future Transmission Grid. Paris: IEA, 2025. <https://www.iea.org/reports/building-the-future-transmission-grid>

IEA. World Energy Outlook 2024. Paris: IEA, 2024. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>

IFP Energies Nouvelles. Metals in the Energy Transition. n.d. <https://www.ifpenergiesnouvelles.com/issues-and-foresight/decoding-keys/climate-environment-and-circular-economy/metals-energy-transition>

International Carbon Action Partnership. "EU Emissions Trading System (EU ETS)." Factsheet, updated January 2025. <https://icapcarbonaction.com/en/ets/eu-emissions-trading-system-eu-ets>

International Energy Agency (IEA). Electricity Grids and Secure Energy Transitions. Paris: IEA, 2023. <https://www.iea.org/reports/electricity-grids-and-secure-energy-transitions>

International Energy Agency (IEA). The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. Paris: IEA, 2021. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>

International Monetary Fund. "Ukraine and the IMF." International Monetary Fund, 2025. <https://www.imf.org/en/Countries/UKR>

International Organization for Standardization. ISO 14001:2015 – Environmental Management Systems: Requirements with Guidance for Use. 3rd ed., September 2015. <https://www.iso.org/standard/60857.html>

International Organization for Standardization. ISO 31000:2018 – Risk Management — Guidelines. 2018. <https://www.iso.org/standard/65694.html>

ISO/ASTM. 52907:2019 Additive Manufacturing — Feedstock Materials — Methods to Characterize Metal Powders. Geneva: ISO, 2019.

ISO/ASTM. 52928:2024 Additive Manufacturing of Metals — Feedstock Lifecycle Management. Geneva: ISO, 2024. <https://www.iso.org/standard/78527.html>

Jiao, Handong, Wei-Li Song, Hao-sen Chen, Stella Jiao, and Daining Fang. "Sustainable Recycling of Titanium Scraps and Purity Titanium Production via Molten Salt Electrolysis." *Journal of Cleaner Production* 261 (2020): 121314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121314>

Joint Research Centre. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries. Luxembourg: Publications Office of the EU, 2023. https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2023-01/TXT_BREF_2023_for_publishing_final.pdf

Joint Research Centre. Titanium Metal: Impact Assessment for Supply Security. Brussels: European Commission, 2021. https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/220616_Briefing_Titanium.pdf

Julia Payne. "EU Announces List of 47 Strategic Metals Projects." Reuters, March 25, 2025. <https://www.reuters.com/world/europe/eu-announces-list-47-strategic-metals-projects-2025-03-25/>

Kullab, Samya, and Hanna Arhirova. "In Ukraine, a Potential Arms-for-Minerals Deal Inspires Hope and Skepticism." AP News, February 16, 2025. <https://apnews.com/article/ukraine-titanium-minerals-us-deal-d99cf34936b9301c4fcee038fc6d9656>

Kurniawan, M. R., T. G. Imami, Z. T. Ichlas, T. Hidayat, and M. Z. Mubarak. "Production of Synthetic Rutile from Tin Ore Beneficiation By-Product through Pre-Oxidation and Reductive Leaching in Hydrochloric Acid." *Scientific Reports* 12 (2022): 9092. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13250-w>

LaBrecque, Sarah. "Food Brands Struggling to Weather the 'Polycrisis' Unleashed by War and Climate Change." Reuters, March 13, 2023. <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/food-brands-struggling-weather-polycrisis-unleashed-by-war-climate-change-2023-03-13/>
Lavopa, A., and Riccio, F. IID Policy Brief 18: The Multiplier Effect of Industrial Jobs. UNIDO, March 2025. <https://www.unido.org/sites/default/files/unido-publications/2025-03/IID%20Policy%20Brief%2018%20-%20Multiplier%20effect%20of%20industrial%20jobs.pdf>

Li, Jinxin, Wenhao Wang, and Xing Chen. "Continuous Casting of Titanium Sponge." *Metallurgical and Materials Transactions B* 53 (2022): 1123–1134. <https://doi.org/10.1007/s11663-022-02345-6>

Li, Wei, et al. "Environmental Impacts Analysis of Titanium Sponge Production Using the Kroll Process." *Journal of Cleaner Production* 258 (2020): 120623. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120623>

Liang, Li, Dachun Liu, Wan Heli, and Li Kaihua. "Removal of Chloride Impurities from Titanium Sponge by Vacuum Distillation." *Vacuum* 152 (2018): 263–270.
<https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2018.02.030>

Lindsey Berckman. "2025 Aerospace and Defense Industry Outlook." Deloitte Insights, October 23, 2024.
<https://www.deloitte.com/us/en/insights/industry/aerospace-defense/aerospace-and-defense-industry-outlook.html>

London Metal Exchange. Futures. Accessed July 10, 2025.
<https://www.lme.com/en/trading/contract-types/futures>

Mark John. "Environment Risks Dominate in 'Polycrisis' World – WEF Survey." Reuters, January 11, 2023.
<https://www.reuters.com/business/sustainable-business/environment-risks-dominate-polycrisis-world-wef-survey-2023-01-11/>

Mazur, Olena, et al. "Strategic Minerals: Global Challenges Post-COVID-19." *Resources Policy* 78 (2022): 102948.
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102948>

McKinsey & Company. "The Titanium Economy: An Introduction." October 21, 2022.
<https://www.mckinsey.com/industries/industrials-and-electronics/our-insights/the-titanium-economy-an-introduction>

Metal Additive Manufacturing Magazine. "Pioneering New Possibilities for Additive Manufacturing in Aerospace." *Metal AM* 3, no. 2 (2019): 34–49.
<https://www.metal-am.com/articles/pioneering-new-possibilities-for-3d-printing-in-aerospace/>

Metal Additive Manufacturing Magazine. "SimTec Advanced Digital Twin Simulation Framework for Powder Production." *Metal AM*, Spring 2025: 58–66.
<https://www.metal-am.com/wp-content/uploads/sites/4/2025/03/Metal-Additive-Manufacturing-magazine-Spring-2025-issue.pdf>

Metal Additive Manufacturing. "Velta Receives Third US Patent for Titanium Powder Production Process." June 3, 2025. Accessed July 11, 2025.
<https://www.metal-am.com/velta-receives-third-us-patent-for-titanium-powder-production-process/>

Mining Association of British Columbia. Critical Minerals Economic Impact Report. January 6, 2024.
https://mining.bc.ca/wp-content/uploads/2024/01/Mansfield_Critical_Minerals_Economic-Impact-Report_FINAL_2024_01_06.pdf

Newsweek. "The Battle for Ukraine's Titanium." January 18, 2023.
<https://www.newsweek.com/battle-ukraines-titanium-1777106>

Nguyen, Tuan, et al. "Solar-Thermal Reduction of TiO₂ to Produce Titanium Oxide Feedstock for Metallurgy." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 215 (2020): 110456.
<https://doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110456>

Noel Randewich and Miyoung Kim. "Japan Quake Strains Supply Chain from Chips to Ships." Reuters, March 14, 2011.
<https://www.reuters.com/article/business/japan-quake-strains-supply-chain-from-chips-to-ships-idUSL3E7EE05V/>

OECD. "Ukraine: Titanium Ore Exports, 2024." The Observatory of Economic Complexity. Accessed July 10, 2025.
<https://oec.world/en/profile/bilateral-product/titanium-ore/reporter/ukr>

Oosthuizen, S. J. "In Search of Low Cost Titanium: The Fray Farthing Chen (FFC) Cambridge Process." *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 111, no. 3 (2011): 199–208.
<https://www.saimm.co.za/Journal/v111n03p199.pdf>

Organisation for Economic Co-operation and Development. "Future of Work." Topic Portal. Accessed July 10, 2025.
<https://www.oecd.org/en/topics/future-of-work.html>

Organisation for Economic Co-operation and Development. *Digitalisation and the Future of Work*. Paris: OECD, 2021.
<https://www.oecd.org/employment/digitalisation-and-the-future-of-work.htm>

Palmer, R. A., T. M. Doan, P. G. Lloyd, B. L. Jarvis, and N. U. Ahmed. "Reduction of TiO₂ with Hydrogen Plasma." *Plasma Chemistry and Plasma Processing* 22 (2002): 335–350.
<https://doi.org/10.1023/A:1015378931111>

Polina Devitt, Nina Chestney, Pratima Desai, and Nigel Hunt. "Commodity Supplies at Risk as Russia Invades Ukraine." Reuters, February 24, 2022.
<https://www.reuters.com/business/energy/commodity-supplies-risk-russia-invades-ukraine-2022-02-24/>

Porter, Michael E. "The Value Chain and Competitive Advantage." Harvard Business School Working Paper 85-050, 1985. https://www.hbs.edu/faculty/Publication%20Files/85-050_61c60885-d0e8-4d92-9a1c-d574d8eaa5f5.pdf

Regulation (EU) 2020/852 of 18 June 2020 on Establishing a Framework to Facilitate Sustainable Investment (EU Taxonomy). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj>

Responsible Mining Foundation. Social Responsibility in Mining: Global Report 2022. Geneva: RMF, 2022. <https://www.responsiblemining.net/global-report-2022.pdf>

Reuters. "Factbox – Europe Seeks to Restart Magnesium Output after Two Decades." Reuters, May 20, 2022. <https://www.reuters.com/article/world/factbox-europe-seeks-to-restart-magnesium-output-after-two-decades-idUSKCN2N60Y4/>

Reuters. "Nordic Metals Firm Hydro Restoring Systems after Cyber Attack." March 19, 2019. <https://www.reuters.com/technology/nordic-metals-firm-hydro-restoring-systems-after-cyber-attack-idUSKCN1R10PU/>

Reuters. "Norsk Hydro's Initial Loss from Cyber Attack May Exceed \$40 Million." March 26, 2019. <https://www.reuters.com/technology/norsk-hydro-s-initial-loss-from-cyber-attack-may-exceed-40-million-idUSKCN1R71X9/>

Reuters. "One Password Allowed Hackers to Disrupt Colonial Pipeline, CEO Tells Senate." June 8, 2021. <https://www.reuters.com/business/colonial-pipeline-ceo-tells-senate-cyber-defenses-were-compromised-ahead-hack-2021-06-08/>

Reuters. "Pentagon Plans AI-Based Program to Estimate Prices for Critical Minerals." January 29, 2024. <https://www.reuters.com/markets/commodities/pentagon-plans-ai-based-program-estimate-prices-critical-minerals-2024-01-29/>

Reuters. "Supply-Chain Strains Set to Weigh on Aviation Industry Bounce-Back." February 23, 2024. <https://www.reuters.com/business/aerospace-defense/supply-chain-strains-set-weigh-aviation-industry-bounce-back-2024-02-23/>

Reuters. "Thai Floods Batter Global Electronics, Auto Supply Chains." October 28, 2011. <https://www.reuters.com/world/thai-floods-batter-global-electronics-auto-supply-chains-idUSTRE79R0QR/>

Reuters. "Thai Floods May Disrupt Supply Chain around Asia." October 13, 2011. <https://www.reuters.com/world/thai-floods-may-disrupt-supply-chain-around-asia-idUSTRE79C1OJ/>

Reuters. "Ukraine Revamps Minerals Sector, Eyes Billions in Investment from US Deal." May 27, 2025. <https://www.reuters.com/world/europe/ukraine-revamps-minerals-sector-eyes-billions-investment-us-deal-2025-05-27/>

Reuters. "Ukraine's Metals Production, Development Projects and Resources." May 1, 2025. <https://www.reuters.com/markets/commodities/ukraines-metals-production-development-projects-resources-2025-05-01/>

Reuters. "Ukraine's Total Export Value Fell 18.7% in 2023, Lowest in a Decade—Economy Minister." January 4, 2024. <https://www.reuters.com/markets/europe/ukraines-total-export-value-fell-18-7-2023-lowest-decade-economy-minister-2024-01-04/>

Reuters. "What Are Ukraine's Rare Earths—and Why Does Trump Want Them?" February 5, 2025. <https://www.reuters.com/markets/commodities/what-are-ukraines-rare-earths-why-does-trump-want-them-2025-02-05/>

Reuters. "What's in the EU's Plan to Boost Clean Tech, Lower Energy Bills?" February 26, 2025. <https://www.reuters.com/sustainability/whats-eus-plan-boost-clean-tech-lower-energy-bills-2025-02-26/>

Robert Harvey. "IEA Says New US Sanctions Could Significantly Disrupt Russian Supply." Reuters, January 15, 2025. <https://www.reuters.com/markets/commodities/iea-says-new-us-sanctions-could-significantly-disrupt-russian-supply-2025-01-15/>

Rusakov, Alexander K., Sergey I. Vlaskin, Maksim V. Moiseev, and Viktor G. Dedov. "Vacuum Arc Remelting of Titanium: Process Control and Plasma Characteristics." *Plasma Chemistry and Plasma Processing* 41, no. 4 (2021): 1199–1215. <https://doi.org/10.1007/s11090-021-10105-6>

Serwale, M. R., T. Coetsee, and S. Fazluddin. "Purification of Crude Titanium Powder Produced by Metallurgical Reduction by Acid Leaching." *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 120 (May 2020): 349–357. <https://www.saimm.co.za/Journal/v122n12p733.pdf>

Smith, Drew Hinshaw. "The U.S. Has a Deal for Ukraine's Minerals—but Big Questions Remain." *Wall Street Journal*, February 19, 2025.
<https://www.wsj.com/world/a-look-at-the-ukrainian-minerals-that-trump-wants-54edb78a>

Sohn, Hosang. "Production Technology of Titanium by Kroll Process." *Journal of the Korean Institute of Resources Recycling* 29 (2020): 3–14.
<https://doi.org/10.7844/kirr.2020.29.4.3>

Spalding, Kirsten Snow. "Investing in Climate Adaptation Is No Longer Optional. It's Business-Critical." *Reuters*, July 3, 2025.
<https://www.reuters.com/sustainability/sustainable-finance-reporting/investing-climate-adaptation-is-no-longer-optional-its-business-critical-2025-07-03/>

State Geological Survey of Ukraine. *Annual Mineral Reports 2023*. Kyiv: SGSU, 2024. Accessed July 10, 2025. <https://geo.gov.ua/>

State Property Fund of Ukraine. "Ukraine Is Rebuilding the Global Titanium Market." News release № 9876, June 14, 2025. Accessed July 10, 2025.
<https://www.spfu.gov.ua/en/news/9876.html>

State Statistics Service of Ukraine. *Industrial Employment Data 2024*. Kyiv: SSSU, May 2025. Accessed July 10, 2025.
<http://www.ukrstat.gov.ua/>

Statista. "Average Price of Titanium Ingots Worldwide from 2018 to 2024." Accessed July 10, 2025. <https://www.statista.com/>

Statista. "Global Titanium Consumption by Industry in 2023." Accessed July 10, 2025.
<https://www.statista.com/statistics/276842/global-titanium-consumption-by-segment/>

Statista. "Projected Annual Demand Growth for Titanium Worldwide, 2020–2030." Accessed July 10, 2025.
<https://www.statista.com/statistics/276842/global-titanium-consumption>

Tajitsu, Naomi. "Five Years after Japan Quake, Rewiring of Auto Supply Chain Hits Limits." *Reuters*, March 30, 2016.
<https://www.reuters.com/article/business/five-years-after-japan-quake-rewiring-of-auto-supply-chain-hits-limits-idUSKCN0WW09K/>

The Washington Post. "Ukraine's Critical Minerals Could Be a Game-Changer—But Their True Worth Is Still Unknown." February 28, 2025.
<https://www.washingtonpost.com/world/2025/02/28/ukraine-us-rare-minerals/>

The Washington Post. "What Are Ukraine's Rare Minerals, and Why Is Trump Eyeing Them?" February 18, 2025.
<https://www.washingtonpost.com/world/2025/02/18/ukraine-war-rare-minerals-metals/>

The White House. *Building Resilient Supply Chains, Revitalizing American Manufacturing, and Fostering Broad-Based Growth: 100-Day Reviews Under Executive Order 14017*. June 2021.
<https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2021/06/100-day-supply-chain-review-report.pdf>

Trading Economics. "Titanium – Price." Accessed July 10, 2025.
<https://tradingeconomics.com/commodity/titanium>

Trading Economics. "Ukraine › Exports › United States › Titanium (Including Waste & Scrap)." Accessed July 10, 2025.
<https://tradingeconomics.com/ukraine/exports/united-states/titanium-including-waste-scrap>

Trendeconomy. "Ukraine – Exports of Titanium Ores and Concentrates (HS 2614)." Accessed July 10, 2025.
<https://trendeconomy.com/data/h2/Ukraine/2614>

U.S. Bureau of Labor Statistics. *Employer-Reported Workplace Injuries and Illnesses – 2023 (USD L-24-2268)*. November 8, 2024.
<https://www.bls.gov/news.release/pdf/osh.pdf>

U.S. Department of Energy, Advanced Manufacturing Office. *Bandwidth Study on Energy Use and Potential Energy-Saving Opportunities in U.S. Titanium Manufacturing*. 2017.
https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/12/f46/Titanium_bandwidth_study_2017.pdf

U.S. Department of Energy. *Bandwidth Study on Energy Use and Potential Energy-Saving Opportunities in U.S. Titanium Manufacturing*. Washington, DC: DOE Advanced Manufacturing Office, 2017.
<https://www.energy.gov/eere/iedo/articles/bandwidth-study-us-titanium-manufacturing>

U.S. Department of Energy. *Critical Materials Strategy 2023*. Washington, DC: DOE, 2023.
<https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-05/2023-critical-materials-strategy.pdf>

U.S. Geological Survey. "Titanium Statistics and Information." *National Minerals Information Center*. Last modified April 2025.
<https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/titanium-statistics-and-information>

U.S. Geological Survey. *Mineral Commodity Summaries 2020*. Reston, VA: USGS, 2020.
<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>

U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2021. Reston, VA: USGS, 2021. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>

U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2022. Reston, VA: USGS, 2022. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf>

U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2024: Titanium Mineral Concentrates. Reston, VA: USGS, 2024. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-titanium-minerals.pdf>

U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2024. Reston, VA: USGS, 2024. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024.pdf>

U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2025. Reston, VA: USGS, 2025. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025.pdf>

U.S. Geological Survey. The Mineral Industry of Ukraine: 2020–2021 Minerals Yearbook. Reston, VA: USGS, 2025. <https://pubs.usgs.gov/myb/vol3/2020-21/myb3-2020-21-ukraine.pdf>

U.S. Geological Survey. Titanium and Titanium Dioxide: 2021 Minerals Yearbook. Reston, VA: USGS, 2024. <https://pubs.usgs.gov/myb/vol1/2021/myb1-2021-titanium.pdf>

U.S. Geological Survey. Titanium and Titanium Dioxide: 2023 Mineral Commodity Summary. Reston, VA: USGS, 2024. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-titanium.pdf>

U.S. Geological Survey. Titanium Mineral Facts and Statistics 2021. Reston, VA: USGS, 2021. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-titanium.pdf>

U.S. Geological Survey. World Minerals Outlook 2025. Scientific Investigations Report 2025-5021. Reston, VA: USGS, 2025. <https://pubs.usgs.gov/publication/sir20255021/full>

Ukrainian Energy Exchange. “Market Data.” Accessed July 10, 2025. <https://www.ueex.com.ua/en/market-data/>

Ukrzaliznytsia. Annual Report 2024. Kyiv: Ukrainian Railways, 2025. <https://www.uz.gov.ua/en/annual-report>

UMCC-Titanium. “History of the Irshansk Mining and Processing Plant.” Accessed July 10, 2025. <https://www.umcc-titanium.com/en/history/>

UMCC-Titanium. “History of the Vilnohirsk Mining and Processing Plant.” Accessed July 10, 2025. <https://www.umcc-titanium.com/en/history/>

UNESCO-UNEVOC. “Bridging the Skills Gap in the Metal Industry: TVET Innovations from Europe and Central Asia.” Policy brief, 2022. <https://unevoc.unesco.org/go.php?q=Bridging+the+skills+gap+in+the+metal+industry>

UNESCO. Technical and Vocational Education and Training Review 2023: Trends, Gaps and Priorities. Paris: UNESCO, 2023. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380530>

United Nations Conference on Trade and Development. Trade and Development Report 2023: Growth, Debt and Climate—Realigning the Global Financial Architecture. Geneva: UNCTAD, 2023. <https://unctad.org/webflyer/trade-and-development-report-2023>

United Nations Industrial Development Organization. Industrial Development Report 2024: Critical Minerals for the Green Transition. Vienna: UNIDO, 2024. <https://www.unido.org/sites/default/files/unido-publications/2024-06/Industrial%20Development%20Report%202024.pdf>

United States Geological Survey. Titanium and Titanium Dioxide: Mineral Commodity Summary 2024. Reston, VA: USGS, 2024. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-titanium.pdf>

USAID. “Support for Ukraine’s Industrial Competitiveness.” Program overview. Accessed July 10, 2025. <https://www.usaid.gov/ukraine>
Velta Holding. “About Us.” Company profile. Accessed July 10, 2025. <https://www.velta.ua/en/about-us>

Vishal Gaur and Abhinav Gaiha. “Building a Transparent Supply Chain.” Harvard Business Review, May–June 2020. <https://hbr.org/2020/05/building-a-transparent-supply-chain>

Wang, Hui, Wencheng Zhu, Yanchun Liu, Lingke Zeng, and Luyi Sun. “The Microwave-Assisted Green Synthesis of TiC Powders.” Materials 9, no. 11 (2016): 904. <https://doi.org/10.3390/ma9110904>

Wang, Wenhao, et al. “Material Flows and Waste Management of Titanium Products in China from 2005 to 2020.” Journal of Sustainable Metallurgy 9, no. 2 (2023): 564–577. <https://doi.org/10.1007/s40831-023-00667-4>

World Bank. "Export Revenue by Commodity (Indicator Database)." World Bank Open Data. Accessed July 10, 2025.
<https://data.worldbank.org/>

World Bank. "Investment Climate for the Mining Sector." Topic page, last updated 2022. Accessed July 10, 2025.
<https://www.worldbank.org/en/topic/investment-climate>

World Bank. "Regional Development in Ukraine." Country overview. Accessed July 10, 2025.
<https://www.worldbank.org/en/country/ukraine>

World Bank. "Tax Incentives and Sustainable Growth: Policy Brief." February 2023. Accessed July 10, 2025.
<https://www.worldbank.org/en/topic/taxpolicy/brief/tax-incentives-and-sustainable-growth>

World Bank. Commodity Markets Outlook: October 2024. Washington, DC: World Bank, 2024.
<https://openknowledge.worldbank.org/bitstreams/6a83f625-3b89-4934-a6b4-fc0734d78faf/download>

World Bank. Project Finance Primer. Washington, DC: World Bank, 2022.
<https://www.worldbank.org/en/publication/project-finance-primer>

World Economic Forum. "The Future of Critical Raw Materials: How Ukraine Plays a Strategic Role in Global Supply Chains." Story, July 2024.
<https://www.weforum.org/stories/2024/07/the-future-of-critical-raw-materials-how-ukraine-plays-a-strategic-role-in-global-supply-chains/>

World Economic Forum. The Global Risks Report 2024. Geneva: World Economic Forum, 2024.
https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2024.pdf

World Health Organization. Global Report on Occupational Safety and Health 2021. Geneva: WHO, 2021.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240030847>

World Health Organization. Healthy Workplaces: A Model for Action. Geneva: WHO, 2010.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789241599313>

Xu, Liwei. "Vertical Integration of Chinese Companies on Rare-Earth Minerals Production as Strategic Supremacy." Modern Diplomacy, November 30, 2023.
<https://moderndiplomacy.eu/2023/11/30/vertical-integration-of-chinese-companies-on-rare-earth-minerals-production-as-strategic-supremacy/>

Zhong, Yue, Yuzhou Liu, and Zhi-Lin Tian. "Digital Twins for Metallurgical Processes: A Comprehensive Review." Results in Engineering 15 (2022): 100598.
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100598>

Zulhan, Zulfiadi, Rifda Dinillah, Toto Yulianton, Imam Santoso, and Taufiq Hidayat. "Carbothermic Reduction of Ilmenite Concentrate with Sodium Carbonate Additive to Produce Iron Granules and High-Titania Containing Slag." Metals 12, no. 6 (2022): 963. <https://doi.org/10.3390/met12060963>

Верховна Рада України. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» № 2059-VIII, 23 травня 2017 р.
<https://zakon.rada.gov.ua/go/2059-19>

ДОДАТОК В.

ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ

ТИТАНОВОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Мета:

забезпечити системну оцінку стану і динаміки розвитку титанової галузі України, її внеску в національну економіку й інтеграцію у глобальні ланцюги постачання. Показники охоплюють виробничі, економічні, соціальні, інноваційні й екологічні аспекти.

1. Виробничі показники

1.1. Обсяг виробництва

Методика: сумарний випуск руди, концентратів, губки, зливків і порошків (тис. тонн/рік).
Інтерпретація: базовий вимір масштабу галузі.

1.2. Середньорічний темп зростання виробництва (CAGR)

Формула: $(V_k / V_0)^{(1/n)} - 1$
де V_k – обсяг у кінцевому році, V_0 – у початковому, n – кількість років.
Інтерпретація: показує динаміку зростання у середньостроковій перспективі.

2. Економічні показники

2.1. Додана вартість галузі (% ВВП)

Формула: $(\text{Додана вартість галузі} / \text{ВВП}) * 100$
Інтерпретація: структурна вага галузі в економіці країни.

2.2. Додана вартість на душу населення

Формула: Додана вартість / Чисельність населення
Інтерпретація: рівень індустріалізації на душу населення, застосовується для міжнародних порівнянь.

2.3. Середньорічний темп зростання доданої вартості (CAGR)

Формула: $(V_k / V_0)^{(1/n)} - 1$, де V_k і V_0 – додана вартість у кінцевому та початковому році.
Інтерпретація: вимірює стійкість економічного зростання в галузі.

2.4. Участь у глобальному ринку

Формула: Додана вартість галузі України / Середній показник топ-10 експортерів (або імпортерів).
Джерела: UN Comtrade, ITC, USGS.
Інтерпретація: визначає міжнародну конкурентоспроможність.

2.5. Експортна спроможність

Формула: Експортна виручка / Чисельність населення
Інтерпретація: здатність генерувати валютні надходження на душу населення.

3. Соціальні показники

3.1. Зайнятість у галузі

Методика: кількість робочих місць у видобутку, переробці й виробництві.
Інтерпретація: соціальна роль галузі.

3.2. Структурна вага зайнятості

Формула: $(\text{Зайнятість у титановій галузі} / \text{Загальна зайнятість}) * 100$
Інтерпретація: визначає місце галузі у структурі ринку праці.

3.3. Середньорічний темп зростання зайнятості (CAGR)

Формула: $(N_k / N_0)^{(1/n)} - 1$
де N_k – кількість зайнятих у кінцевому році, N_0 – у початковому.
Інтерпретація: показує динаміку створення робочих місць.

3.4. Еластичність зайнятості

Формула: CAGR зайнятості / CAGR доданої вартості
Інтерпретація: 0–0.5 = зростання за рахунок продуктивності; 0.5–1 = збалансоване зростання; >1 = зростання за рахунок трудоемності.

3.5. Продуктивність праці

Формула: Додана вартість / Кількість зайнятих
Інтерпретація: ефективність робочої сили.

3.6. Рівень оплати праці

Формула: Витрати на оплату праці / Кількість зайнятих
Інтерпретація: середня зарплата в галузі.

4. Інноваційні та структурні показники

4.1. Індекс диверсифікації виробництва

(HHI, Індекс Херфіндаля-Хіршмана)

Формула: $\sum (s_i^2)$, де s_i – частка кожного підсектору.

Інтерпретація: <1500 = низька концентрація, $1500-2500$ = середня, >2500 = висока.

4.2. Індекс інноваційності

Формула: $(\text{Обсяг інноваційної продукції} / \text{Загальний обсяг виробництва}) * 100$

Інтерпретація: частка продукції нових технологій (3D-друк, порошки, імпланти).

4.3. Фінансова стійкість

Формула: $\text{EBITDA} / \text{Дохід або R\&D витрати} / \text{Дохід}$

Інтерпретація: здатність інвестувати у розвиток та інновації.

5. Екологічні та ресурсні показники

5.1. Ресурсна ефективність

Формула: $\frac{\text{Додана вартість}}{\text{Матеріаломісткість}}$

$\text{Матеріаломісткість} = (\text{Використана сировина} - \text{Експортована сировина})$.

Інтерпретація: ефективність перетворення сировини у вартість.

5.2. Енергоефективність

Формула: $\frac{\text{Додана вартість}}{\text{Енерговитрати (у тне – тонни нафтового еквівалента або тв е – тонни вугільного еквівалента)}}$

Інтерпретація: залежність виробництва від енергоресурсів.

5.3. Викиди та відходи

Формула: $\frac{(\text{CO}_2 + \text{Інші відходи})}{\text{Обсяг готової продукції}}$

Інтерпретація: ключовий показник ESG та відповідності вимогам ЄС/США.

6. Використання показників

- **Для уряду:** моніторинг виконання стратегій розвитку галузі й оцінка внеску у ВВП, зайнятість і експорт.

- **Для бізнесу:** аналіз конкурентоспроможності, інноваційності й ефективності виробництва.

- **Для інвесторів:** оцінка фінансової стійкості й екологічної відповідності підприємств.

- **Для міжнародних партнерів:** порівняння України з провідними країнами та обґрунтування співпраці.

ДОДАТОК С.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ УРЯДУ УКРАЇНИ

1. Створити умови для державного і банківського сектору для спрощення доступу підприємств титанової галузі до дешевого боргового капіталу:

Розробити зміни до постанови Кабінету Міністрів України від 24 січня 2020 р. № 28 «Про надання фінансової державної підтримки» з метою розширення пріоритетних напрямків кредитування програми на сферу видобування корисних копалин.

2. Забезпечити державну підтримку інвестиційних проєктів з модернізації наявного і створення нового виробництва в титановій галузі, спрямованих на задоволення потреб оборонно-промислового комплексу, авіаційної і космічної промисловості, галузей ракетобудування, суднобудування і медицини в якісній титановій продукції:

Розробити зміни до Закону України «Про державну підтримку інвестиційних проєктів із значними інвестиціями в Україні» щодо поширення державної підтримки на інвестиційні проєкти з метою видобування корисних копалин.

3. Створити умови для розвитку розгалужених транспортних систем для постачання титанової сировини, проміжної і готової титанової продукції, зокрема на міжнародні ринки із забезпеченням високого рівня безпеки:

Забезпечити впровадження пільгових тарифів для транспортування товарної продукції залізничним транспортом і портових зборів, що справляються в морських портах із суден, що плавають під Державним Прапором України та іноземними прапорами для збільшення конкурентоздатності української продукції.

4. Переглянути систему митних платежів на імпорتنі операції, забезпечивши диверсифікацію джерел імпорту обладнання, яке використовується у виробництві титанової продукції:

Розробити зміни до Податкового та Митного кодексів щодо звільнення від оподаткування ввізним митом та ПДВ відповідних товарів.

5. Запровадити фіскальні стимули у вигляді податкових канікул і кредитів для інвестицій у наявні та нові виробництва, зокрема у випадках застосування механізмів трансферу технологій, коли отримувачем технології є вітчизняне підприємство:

Запровадити податок на виведений капітал замість податку на прибуток підприємств.

6. Забезпечити належний рівень пропозиції до співпраці із стратегічними інвесторами:

Забезпечити проведення аукціонів і конкурсів з укладання угод про розподіл продукції щодо розробки ділянок титановмісних надр у 2025 році

7. Запровадити державну підтримку щодо підключення нових промислових потужностей до електричних мереж, зокрема щодо розвитку мереж постачання електроенергії до місць концентрації підприємств титанової галузі, а також забезпечити безперебійне постачання електроенергії на об'єкти промисловості титанової галузі:

Поширити норми Закону України «Про індустриальні парки» на підприємства – учасники кластеру титанової галузі;

Забезпечити своєчасне і якісне надання потенційним інвесторам адміністративних й інформаційних послуг у титановій галузі, зокрема повної і якісної геологічної інформації про поклади титанової руди, за принципом «єдиного вікна».

8. Забезпечити впровадження «єдиного вікна» за аналогією з відповідними нормами в Регламенті (ЄС) 2024/1252 «Про створення рамкових умов для забезпечення безпечного і сталого постачання критичної сировини».

9. Запровадити дієві механізми експортної підтримки, зокрема експортного кредитування і страхування ризиків:

Розробити зміни до Закону України «Про фінансові механізми стимулювання експортної діяльності» щодо вилучення коду згідно з УКТ ЗЕД, а саме 2601-2620, для забезпечення можливості використання кредитно-страхової підтримки експорту корисних копалин, включно з критичною сировиною;

Розробити зміни до Закону України «Про фінансові механізми стимулювання експортної діяльності» для страхування і перестрахування від воєнних ризиків кредитів українських суб'єктів господарювання, необхідних для розвитку добувної промисловості.

10. Створити умови для збільшення конкуренції української продукції на світовому ринку:

Внести зміни до Кодексу України про надра для запровадження поняття «Сировинні кластери», порядок їх формування і ведення відповідного реєстру;

Передбачити, тимчасово, до моменту будівництва власної генерації, покладення спеціальних обов'язків на постачальників універсальних послуг для поставки електричної енергії за пільговим тарифом для учасників «Сировинного кластера».

