



Наказом МОН України від 10.10.2022 р. №894 видання включено до **категорії «Б»** за спеціальностями:  
051 – економіка; 072 – фінанси, банківська справа та страхування; 073 – менеджмент;  
076 – підприємництво, торгівля та біржова діяльність; 292 – міжнародні економічні відносини

DOI 10.56197/2786-5827/2023-2-4-2

УДК 661.882.22-14: 33.338

Хаустов Володимир Кирилович,

кандидат технічних наук,

вчений секретар,

Державна установа “Інститут економіки та прогнозування НАН України”

вул. Панаса Мирного, 26, м. Київ, 01000, Україна,

email: khau@ief.org.ua

ORCID ID: 0000-0003-3572-7595

Researcher ID: CYR-7546-2022

Scopus ID: 55269221400

Khaustov Volodymyr,

PhD in Technical Sciences,

Scientific Secretary,

State Organization “Institute for Economics and Forecasting, NAS of Ukraine”,

Panasa Myrnoho str., 26, Kyiv, Ukraine, 01011

email: khau@ief.org.ua

ORCID ID: 0000-0003-3572-7595

Researcher ID: CYR-7546-2022

Scopus ID: 55269221400

## **ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВИРОБНИЦТВА ДІОКСИДУ ТИТАНУ В УКРАЇНІ**

## **PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF TITANIUM DIOXIDE PRODUCTION IN UKRAINE**

**Вступ.** Перспективи подальшого розвитку та повоєнного відновлення економіки України викликають необхідність пошуку нових перспективних та економічно доцільних напрямів розвитку галузей промисловості та проривних технологій. В Україні і світі одним з можливих таких напрямів є розвиток виробництва діоксиду титану на основі нових екологічно безпечних та економічно ефективних технологій.

**Матеріали та методи.** Методологічною основою дослідження є загальні та спеціальні наукові методи: діалектичний метод пізнання, аналізу та синтезу, узагальнення інформації, монографічного дослідження, абстракції, порівняння, статистичні методи дослідження цифрових даних.

**Результати і обговорення.** Проведені дослідження показали, що світовий ринок діоксиду титану є одним з найбільших в світі, складав в 2021р. близько 21 млрд дол. і динамічно росте і розвивається за рахунок розширення номенклатури продукції, збільшення обсягів реалізації, знаходження нових сфер використання матеріалу. Технології виробництва діоксиду титану, які використовуються в світі недосконалі і екологічно небезпечні. Два українських підприємства, які виробляли раніше діоксид титану, на сьогодні не працюють в силу різних причин. “Кримський титан” з хлорним способом отримання знаходиться на

окупованій території, а потужності з отримання пігментного діоксиду титану сульфатним способом, існуючі на ПАТ “СУМИХІМПРОМ”, на сьогодні знаходяться у стадії санації, й потребують переозброєння. Тому на основі аналізу ринків діоксиду титану, технологій виробництва діоксиду титану показані перспективи розвитку цієї галузі в Україні на основі нових гідрометалургічних технологій.

**Висновки.** Відновлення виробництва діоксиду титану в Україні має стати одним з першочергових завдань, проводитись на основі нових екологічно безпечних та економічно вигідних технологій, для чого необхідно провести доопрацювання наявних наукових розробок українських науковців титанової галузі. Нові технології отримання діоксиду титану дадуть можливість виробляти якісний матеріал високого ступеня чистоти 97%-99 % з найбільшою доданою вартістю, з підвищенням повноти переробки сировини (вилучення діоксиду титану 92-95 %) та можливістю отримання діоксиду титану з бідних ільменітових руд з вмістом титану від 42 %.

**Ключові слова:** титанова галузь, діоксид титану, ільменіт, технології отримання діоксиду титану, ринки продукції з діоксиду титану, виробники діоксиду титану, регіональні ринки, перспективи зростання виробництва діоксиду титану.

**Introduction.** Prospects for further development and post-war recovery of Ukraine's economy call for searching new promising and economically feasible directions for the development of industries and breakthrough technologies. In Ukraine and globally, one of such possible directions is the development of titanium dioxide production based on new environmentally safe technologies.

**Materials and methods.** The methodological basis of the research includes various general and special scientific methods, such as the dialectical method of cognition, analysis and synthesis, generalization of information, monographic research, abstraction, comparison, statistical methods of the research on digital data.

**Results and discussion.** The conducted studies have shown that the global titanium dioxide market, being one of the largest in the world with a volume of about 21 billion dollars (in 2021), dynamically grows and develops due to the expansion of the product range, increased sales, and new areas of the product's use. Technologies for the production of titanium dioxide, which are used in the world, are still imperfect and environmentally hazardous. Two Ukrainian enterprises that previously produced titanium dioxide are not working today due to various reasons. “Crimean titanium” with the chlorine based method of production is located in the occupied territory, and the facilities for the production of pigment titanium dioxide by the sulfate method, existing at PJSC “SUMYKHIMPROM”, are currently under rehabilitation and need to be re-equipped. Therefore, based on the analysis of titanium dioxide markets, and technologies of titanium dioxide production, the article shows prospects for the development of this industry in Ukraine based on new hydrometallurgical technologies.

**Conclusions.** The restoration of titanium dioxide production in Ukraine should become one of the priority tasks, it should be carried out based on new ecologically safe and economically profitable technologies, for which it is necessary to finalize the existing research projects of Ukrainian scientists in the titanium industry. New technologies for obtaining titanium dioxide would make it possible to produce high-quality material with a high degree of purity (97-99 %) with the highest added value, increased completeness of raw material processing (extraction of titanium dioxide within 92-95 %) and the possibility of obtaining titanium dioxide from poor ilmenite ores with a titanium content from 42 %.

**Keywords:** titanium industry, titanium dioxide, ilmenite, technologies of titanium dioxide production, markets of titanium dioxide products, titanium dioxide producers, regional markets, prospects for the growth of titanium dioxide production.

**JEL Classification:** D42; L10, L60, L61, L72

**Вступ.** Україна багато років відігравала помітну роль на світовому ринку титану. Це відбувалось за рахунок ключової ролі України в СРСР як розробника технологій виробництва титану та титаномісткої продукції, наявності великих родовищ титанових руд, виробника титанової губки та діоксиду титану. Технології виробництва титанової продукції були розроблені та впроваджені в післявоєнні роки, тому на сьогодні є неефективними, застарілими, обладнання зношене, морально застаріле і характеризується високим енергоспоживанням і суттєвим забрудненням довкілля.

Виробництво діоксиду титану, як одного з найбільш витребуваних на світовому ринку матеріалів, в Україні на сьогодні, на жаль, в силу різних причин не ведеться взагалі. Відновлення виробництва діоксиду титану в Україні на основі нових екологічно чистих та енергоощадних технологій з подальшим розвитком лакофарбової, косметичної промисловості та виробництва харчових добавок на основі діоксиду титану є одним з першочергових завдань країни.

1. Існуючі технології виробництва титану та діоксиду титану відомі і описані в низці праць та економічним проблемам розвитку титанової галузі, в тому числі виробництва діоксиду титану, присвячені огляди ГМК-центру, роботи Українського інституту майбутнього та праці науковців (Banerjee, 2013; Bewlay, 2013; Firstov, 2004; Georgitzikis, 2022; Gonchar, 2023; Khalloufi, 2021; Kompan, 2003; Liu, 2016; Nyamekye, 2023; Paton, 2011; Qiand, 2022; Roux, 2020; Yamauchi, 2022; Ахонін, 2021; Капустян, 2018; Карпець, 2016; Лютий, 2016; Педько, 2018; Таранюк, 2019, Шелеметьєва, 2012).

Але залишаються недостатньо вивчені перспективи подальшого розвитку виробництва діоксиду титану на основі абсолютно нових підходів та технологій.

**Матеріали та методи.** Методологічною основою дослідження є загальні та спеціальні наукові методи: діалектичний метод пізнання, аналізу та синтезу, узагальнення інформації, монографічного дослідження, абстракції, порівняння. При вивченні технологій виробництва діоксиду титану, перспектив розвитку, використовувалися методи монографічного дослідження, узагальнення інформації, аналізу та синтезу. В процесі аналізу ринків збуту та виробництва застосовувалися методи монографічного дослідження, узагальнення, аналізу та синтезу, статистичні методи дослідження цифрових даних. При дослідженні динаміки змін ринків діоксиду титану застосовано статистичні методи дослідження цифрових даних. При формуванні перспектив розвитку галузі виробництва діоксиду титану застосовано метод абстракції та узагальнення інформації. Метод узагальнення дозволив зробити висновки із проведеного дослідження.

**Результати і обговорення.** Чистий діоксид титану ( $\text{TiO}_2$ ) – це безбарвна тверда кристалічна речовина. Незважаючи на безбарвність є ефективним білим пігментом. Практично не поглинає падаючого світла. Світло або передається, або переломлюється або відбивається на поверхнях. Це самий стабільний матеріал з усіх відомих білих пігментів<sup>1</sup>.

Діоксид титану є поліморфною сполукою: він зустрічається у кристалічних структурах: брукіт, анатаз та рутил. Це порошок, який змінює свій колір в залежності від температури – білий, при нагріванні – жовтуватий. Унікальні властивості (надзвичайно високі температури плавлення та кипіння, ультра-білий колір, нетоксичність, дуже високий показник заломлення), привели до того, що він став одним з найбільш затребуваних товарів світового ринку.

Діоксид титану найбільше використовують у харчовій промисловості (як добавка Е 171), косметичній промисловості, виробництві фарб, пластмас і паперу.

В косметичній промисловості найбільш часто використовують діоксид титану через його здатність відбивати та поглинати ультрафіолет і захищати шкіру від надмірного впливу. Діоксид титану присутній в таких косметичних засобах: пудра, губна помада, тіні, а також в

---

<sup>1</sup> Мала гірнича енциклопедія: у 3 т. /за ред. В. С. Білецького. Д.: Східний видавничий дім, 2013. Т. 3, С-Я. 644 с.

антиперспірантах. В фармацевтичній галузі добавку E-171 застосовують при виробництві капсул і таблеток з метою надати пігулкам білий колір, продовжити термін зберігання.

Більше половини всього виробленого діоксиду титану у світі використовується як барвник або пігмент, для різних покриттів і пластмас. Це: фарби, лаки та емалі, суміші, розчини для ґрунтовки, шпаклівки, штукатурки, поліуретанові і епоксидні покриття.

Історія виробництва діоксиду титану налічує більше 100 років. Перший завод почав працювати в Норвегії в 1916 році. Зараз в світовій практиці виробництва  $TiO_2$  використовують два основних способи отримання: сульфатний та хлорний.

*Сульфатний* спосіб виробництва діоксиду титану почав використовуватись з 1931 р. для виробництва анатазної форми. Цей спосіб виробництва має ряд істотних недоліків: високі витрати енергії, складна багатостадійна схема, висока витрата сірчаної кислоти, яка непродуктивно витрачається з утворенням великої кількості відходів – сульфату заліза, а також розведеної і забрудненої домішками сірчаної кислоти, які негативно впливають на навколишнє середовище.

Пізніше почав використовуватись інший метод отримання діоксиду титану – хлорний метод.

*Хлорний* метод є кращим порівняно з сульфатним: технологічна схема значно простіша та затрати в 1,5 рази менші; схема замкнута (тобто хлор утилізується); отримується діоксид титана більш високої чистоти, а якість пігменту в кілька разів вища, ніж у сульфатному способі.

В Україні діоксид титану виробляється двома підприємствами – “Кримський титан”, з хлорним методом, та “Суміхімпром” з сульфатним. Обидва виробництва є надзвичайно складними, енергозатратними та становлять небезпеку для екології. Відходи виробництва небезпечні, забруднюють навколишнє середовище. З обсягу промислових відходів переробляється і використовується повторно тільки до 7%. Обидва підприємства характеризуються достатньо значними кількостями відходів. Крім того, за довгі роки роботи накопичились величезні запаси небезпечних відходів, які ніхто ніколи не утилізував. Хоча ці відходи є можливою сировиною для майбутньої переробки.

В той же час, незважаючи на гостру потребу в Україні по створенню нових екологічно чистих технологій виробництва діоксиду титану, наукові дослідження в цьому напрямку не ведуться. І навіть їх ніхто не ініціює.

Діоксид титану є одним з найбільш використовуваних матеріалів світового ринку. У 2021 році світовий ринок діоксиду титану оцінювався в \$20,9 млрд. До 2026 року очікується \$27,9 млрд. Якщо розглядати весь ринок титанової продукції, то діоксид титану займає 90-95 % всього ринку.

Специфіка ринку діоксиду титану полягає у високій концентрації виробників. На 7 найбільших виробників припадає 56 % світового обсягу. Ще 36% виробляють 50 компаній у КНР. При цьому на Китай припадає третина світового споживання. КНР при виробництві діоксиду титану використовує технології та промислові потужності, розроблені в СРСР українськими фахівцями.

Світовим лідером з видобутку діоксиду титану є Китай: у 2021 році показник становив 3 млн т. ПАР відстає втричі, Мозамбик – у три з лишком. Україна посіла 6-те місце з обсягами виробництва 430 тис. т., але Україна відсутня в переліку усіх світових експортерів в 2021 році.

Найбільші експортери діоксиду титану у 2021 році за даними Світового банку, представлені у таблиці 1.

У 2021 році найбільшими імпортерами діоксидів титану були: Європейський Союз (126,2 млн. дол. США, 45,7 тис. т), Німеччина (117,8 млн. дол. США, 33,5 тис. т), США (82,2 млн. дол. США). Україна імпортувала діоксиду титану на 388,5 тис. дол. (табл. 2).

Таблиця 1

## Найбільші експортери діоксиду титану

| № з/п | Країна            | Обсяг, млн дол. США | Обсяг, тис. т |
|-------|-------------------|---------------------|---------------|
| 1     | КНР               | 182,3               | 75,9          |
| 2     | Німеччина         | 139,4               | 35,7          |
| 3     | Японія            | 85,1                | 19,2          |
| 4     | Франція           | 70,5                | 14,6          |
| 5     | Індія             | 62,9                | 45,5          |
| 6     | Південна Корея    | 58,4                | 20,5          |
| 7     | США               | 50,5                | 17,9          |
| 8     | Канада            | 30,0                | 11,2          |
| 9     | Бельгія           | 26,1                | 8,3           |
| 10    | Саудівська Аравія | 22,0                | 7,1           |

Джерело: World Integrated trade Solution. URL: <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2021/tradeflow/Exports/partner/WLD/product/282300>

Таблиця 2

## Найбільші імпортери діоксиду титану

| № з/п | Країна         | Обсяг, млн. дол. США | Обсяг, тис. т |
|-------|----------------|----------------------|---------------|
| 1     | Німеччина      | 117,8                | 33,5          |
| 2     | США            | 82,2                 | –             |
| 3     | Бразилія       | 54,6                 | 19,8          |
| 4     | В'єтнам        | 46,3                 | 14,4          |
| 5     | Іспанія        | 46,3                 | –             |
| 6     | Індія          | 43,7                 | 14,6          |
| 7     | Канада         | 42,6                 | 13,5          |
| 8     | КНР            | 38,6                 | 78,8          |
| 9     | Японія         | 36,6                 | 13,5          |
| 10    | Південна Корея | 34,7                 | 89,3          |

Джерело: World Integrated trade Solution. URL: <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2021/tradeflow/Imports/partner/WLD/product/282300>

Дані зовнішньої торгівлі України діоксидом титану наведені у таблиці 3. Причому відсутня усталена динаміка щодо експорту та значно більші обсяги імпорту цієї продукції.

*Прогнозні дані світового ринку діоксиду титану<sup>2</sup>*

Обсяг світового ринку діоксиду титану в 2021 році оцінювався в 20,9 млрд доларів США, і очікується, що з 2023 по 2030 рік він зростатиме на 6,3 % на рік. Очікується, що ринок зростатиме через надмірне споживання фарби та покриття в різних галузях використання, включаючи автомобільну, будівельну тощо<sup>3</sup>.

У 2022 році сегмент рутилу лідирував на ринку, частка доходу якого становила понад 76,0 %. Очікується, що ця тенденція збережеться протягом прогнозованого періоду до 2030 року. Очікується, що зростаюча будівельна галузь збільшить попит на рутиловий діоксид титану протягом прогнозованого періоду.

<sup>2</sup> URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/titanium-dioxide-industry>

<sup>3</sup> URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/titanium-dioxide-industry>

## Зовнішня торгівля оксидом титану

| Рік  | Експорт, дол. США | Імпорт, дол. США | Експорт, кг | Імпорт, кг |
|------|-------------------|------------------|-------------|------------|
| 2013 | 1 616,41          | 525 780,97       | 55,20       | 149 597,63 |
| 2014 | 5,13              | 538 248,67       | 0,90        | 171 011,00 |
| 2015 | 432,33            | 154 392,82       | 26,90       | 63 422,00  |
| 2016 | 267,77            | 165 385,48       | 12,70       | 62 390,10  |
| 2017 | 17,40             | 614 665,60       | 1,80        | 199 195,64 |
| 2018 | 259 167,66        | 345 478,18       | 917 261,10  | 100 268,44 |
| 2019 | 7 055,66          | 152 040,18       | 2 002,00    | 46 049,11  |
| 2020 | 17 855,09         | 370 346,37       | 2 700,00    | 117 439,61 |
| 2021 | –                 | 370 754,04       | –           | 113 152,33 |
| 2022 | 0,27              | 134 932,52       | 0,20        | 30 527,74  |

Джерело: за даними Державної служби статистики України

Діоксид титану широко використовується у фарбах і покриттях. Він в поєднанні з іншими кольоровими пігментами використовується в багатьох сферах використання, включаючи покриття для автомобілів, літаків, морських суден, декоративних покриттів. Зростання будівельної діяльності позитивно впливає на попит на фарби та покриття, що створює значний попит на діоксид титану.

Поступове зростання в автомобільній промисловості, особливо в легкових автомобілях, спричинило значне споживання фарб і покриттів, що, у свою чергу, підштовхне попит на діоксиду титану. Покриття, виготовлені з використанням діоксиду титану, мають чудову сумісність із полікарбонатом, термопластом, який використовується як альтернатива матеріалам на основі скла та металу. Зростання попиту на легкі транспортні засоби призвело до збільшення попиту на полікарбонат в автомобільній промисловості.

Зростаюча індустріалізація та урбанізація в країнах з економікою, що розвивається, як-от США, Китай, Індія та інші, зростання інвестицій у розвиток інфраструктури та зростання житлового сектора сприяють зростанню будівельної галузі, тим самим створюючи попит на фарби та покриття.

Діоксид титану використовується як диспергатор, флокулянт і відбілюючий агент у промисловості фарб і покриттів. Очікується, що швидке зростання автомобільної промисловості в Китаї, Індії та Японії збільшить попит на продукцію протягом прогнозованого періоду.

Наночастинки  $TiO_2$  широко використовуються у фотоелектричних (PV) системах, включаючи сонячні елементи, гібридні полімерно-неорганічні сонячні елементи. Збільшення використання чистих джерел енергії також підштовхнуло попит на фотоелектричні елементи.

Глобальна косметична індустрія переживає значне зростання завдяки бажанням середнього класу до витрат та перевагам високоякісних продуктів. Зростаючий попит на продукти для догляду за шкірою також підживлює попит на засоби для догляду за шкірою. Очікується, що зростання косметичної промисловості значно збільшить попит на діоксиду титану.

Сегмент фарб і покриттів очолив ринок, на частку якого припало понад 59,3% світового доходу в 2022 році. Очікується, що цей сегмент буде найшвидше зростати з 2023 по 2030 рік. За останні кілька років значне зростання будівельного та автомобільного секторів підштовхнуло попит на продукцію в промисловості фарб і покриттів.

Сегмент пластмас, який складав в 2022 році 20% ринку. Очікують, що виробництво пластику збільшиться протягом прогнозованого періоду через зростання попиту на нього в

автомобільній промисловості, будівельних матеріалах і матових сумішах. Зростання проблем захисту навколишнього середовища прискорило виробництво біопластику. Це матиме позитивний вплив на попит на продукцію протягом наступних кількох років.

Целюлозно-паперовий сегмент, який склав в 2022 році 14% ринку є одним із ключових кінцевих споживачів діоксиду титану завдяки його використанню як наповнювача у целюлозно-паперовому виробництві. Продукт покращує яскравість, непрозорість, колір, пористість, гладкість, глянєць і придатність для друку паперу.

Азіатсько-Тихоокеанський регіон домінував на ринку діоксиду титану та мав найбільшу частку доходу в 42,4% у 2022 році. Недавній економічний розвиток і швидка індустріалізація стимулювали зростання ринку діоксиду титану в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні. Зростання попиту на легкові автомобілі та електромобілі є основним чинником зростання ринку.

У КНР зростання будівельного сектора призвело до зростання попиту на фарби та покриття. Очікується, що це позитивно вплине на ринок протягом наступних кількох років. Використання діоксиду титану Китаї перевершило США.

Очікується, що поширена будівельна діяльність у північноамериканському регіоні сприятиме розвитку ринку діоксиду титану.

В США стимулюється будівництво значної кількості медичних установ і лікарень, що, у свою чергу, підвищить попит на фарби та покриття в регіоні. Очікується, що це збільшить попит на діоксиду титану у промисловості фарб і покриттів.

На п'ятірку найбільших виробників діоксиду титану припадало понад 50% загального обсягу виробництва діоксиду титану в 2022 році, що робить галузь консолідованою. Найбільш великі компанії – Kronos Worldwide Inc, Trancorei Tronox Limited, які займаються видобутком сировини, а також виробництвом діоксиду титану. Серед відомих гравців світового ринку: The Chemours Company, The Tronox Holdings plc, LB Group, Venator Materials PLC, KRONOS Worldwide Inc., Evonik Industries AG, ISHIIHARA SANGYO KAISHA, LTD., CNNC HUAN YUAN Titanium Dioxide Co., Ltd., The Kerala Minerals & Metals Limited, CATHAY INDUSTRIES, TOR Minerals International Inc.

Перспективи розвитку виробництва діоксиду титану в Україні досить складні. “Кримський титан” з хлорним способом отримання діоксиду титану знаходиться на окупованій території. Виробничі потужності з отримання пігментного  $TiO_2$  сульфатним способом, існують на ПАТ “СУМИХІМПРОМ”, яке на сьогодні знаходиться у стадії санації, й потребує переозброєння.

Крім того, технології отримання діоксиду титану на обох підприємствах застарілі, економічно неефективні і загрозові для екології регіонів. І в основному, виробляється діоксид титану невисокої чистоти, який на світових ринках коштує дешево. Утилізація і переробка відходів виробництва не велась ніколи і відходи займають величезні території, забруднені ядовитою продукцією.

Тобто на технологічно і технічно застарілій виробничій базі неможливо виробляти конкурентоспроможну продукцію з високою доданою вартістю. Альтернативним напрямом розвитку технологій отримання діоксиду титану є способи гідрометалургії, застосування яких показало гарну розкривність ільменіту. Гідрометалургія забезпечує комплексність переробки ільменіту з отриманням усіх корисних елементів, що містяться в руді. Ці фактори визначають техніко-економічні переваги даного напрямку розвитку технології, що відображені в енергетичній ефективності, екологічності та комплексності переробки ільменіту. Ці роботи успішно проводились раніше, а потім були призупинені. В інших країнах дослідження і створення технологій виробництва діоксиду титану не проводились, оскільки в них вже існують великі виробництва діоксиду титану, а питання екології не розглядається взагалі. Кількість країн виробників діоксиду титану вкрай обмежена, сформований великий ринок, переобладнання заводів під нові технології вимагає великих затрат і, на відміну від України, яка завжди розробляла технології виробництва титану світового рівня, відсутні науковці, спроможні їх розробити. В цих умовах ніхто не може і не

хоче займатись розробкою і впровадженням нових технологій.

Дослідницькі роботи мають бути продовжені і закінчитись створенням нової промислової технології отримання діоксиду титану. За цими технологіями пряме відновлення титану з його двоокису передбачає технологію отримання діоксиду титану високого ступеня чистоти з підвищенням повноти переробки сировини (вилучення  $TiO_2$  92-95%) з отриманням діоксиду титану високого ступеня чистоти 97-99 %, та підвищенням повноти комплексності переробки сировини з передачею в подальшу переробку компонентів, збагачених оксидами та солями заліза, хрому, нікелю, кобальту, ванадію, скандію, літію та ін.

Наявність такої технології забезпечує основу розвитку титанової галузі. А діоксиди титану високої чистоти коштують дорого і є продукцією з високою доданою вартістю.

Унікальні властивості діоксиду титану дозволяють його використання у якості модифікатора для будівельних матеріалів: еко-бетонів та еко-фарб для боротьби з екологічними забрудненнями навколишнього середовища.

Для вирішення проблеми забруднення атмосферного повітря та води використовують фотокаталітичні реакції, що йдуть на поверхні будівельних матеріалів (зі спеціальними домішками на основі діоксиду титану), які створюють умови для очищення, а також створення самоочисних поверхонь, видалення запахів тощо.

Реакції фотокаталітичного окислення, що відбуваються при формуванні на поверхні очисного будматеріалу ОН-радикалів, в яких знаходиться діоксид титану, як модифікатор, дозволяють видаляти з повітря забруднювачі.

Енергетична ефективність запропонованої технології забезпечується використанням світлової енергії. Ефекти, генеровані на атомарному рівні, не вимагають підведення енергії ззовні, і не вимагають експлуатаційних витрат. Очищення від забруднювачів іде постійно.

Результат очищення досягається вибором виду фотокаталізатора, а також визначенням оптимального вмісту фотокаталітичної добавки діоксиду титану, необхідної поліморфної модифікації у складі будівельного матеріалу .

В деяких країнах уже використовують спеціальні екологічно очищуючі матеріали для фарбування парканів, що дозволяє знизити шкідливе навантаження від забрудненого повітря.

Це абсолютно нова перспектива застосування діоксиду титану, яка суттєво збільшить світовий попит і буде вимагати нарощування обсягів його виробництва.

**Висновки.** Відновлення виробництва діоксиду титану в Україні має стати одним з першочергових завдань економічного розвитку держави, проводитись на основі нових екологічно безпечних та економічно вигідних технологій. Нові технології отримання діоксиду титану дадуть можливість виробляти якісний матеріал високого ступеня чистоти з найбільшою доданою вартістю, з підвищенням повноти переробки сировини та можливістю отримання діоксиду титану з бідних ільменітових руд.

Для виконання цих завдань основні напрями розвитку титанової галузі мають бути зосереджені на:

1. Пошуку та розробці абсолютно нових технологічних процесів, орієнтованих на оптимізацію технологій, у першу чергу за об'єктивними критеріями ефективності – сировинної та енергетичної.

2. Відновленні наукових досліджень для створення нових технологічних процесів виробництва титану та діоксиду титану на основі розвитку гідрометалургічних технологій з виходом практично всіх цінних компонентів, наявних в руді, створенням майже безвідходного виробництва з переміщенням відпрацьованих речовин на початок технологічного процесу.

3. Розширенні сировинної бази титанової галузі за рахунок залучення до технологічних процесів переробки дешевих ільменітових концентратів з невисоким (від 42%) вмістом діоксиду титану, які видобуваються з бідних ільменітових руд.

4. Переходу на виробництво діоксиду титану високої чистоти (97-99 %).



5. Підвищенні повноти переробки сировини з отриманням діоксиду титану на рівні 92-95 %.
6. Необхідністю в умовах обмеженого фінансування зосередження титанового виробництва на виробництві діоксиду титану, в тому числі високочистого (від 97 %), як найбільш ефективного продукту титанового ринку з високою доданою вартістю, і не залежного від двох головних споживачів металевого титану.
7. Створення нових виробничих потужностей з підприємствами лакофарбної, косметичної, будівельної, харчової промисловості з забезпеченням повного технологічного ланцюжка від добування наявних руд, їх переробки, отримання діоксиду титану та виготовлення готової продукції..
8. Налагодженні виробництва металевого порошку титану з діоксиду титану.
9. Підвищенні повноти комплексності переробки сировини за рахунок передачі в подальшу переробку побічних компонентів – заліза, хрому, нікелю, кобальту, ванадію, скандію, літію та інших металів.
10. Впровадженні у виробництво нових класів фотокаталітичних будівельних матеріалів на основі  $TiO_2$  для зниження концентрацій забруднень.

#### **Список використаних джерел.**

1. Banerjee D., Williams J.C. Perspectives on Titanium Science and Technology. *Acta Materialia*. 2013. 61(3). Pp. 844-879. URL: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2012.10.043>.
2. Bewlay B. P., Weimer M., Kelly T., Suzuki A., Subramanian P. R. The Science, Technology, and Implementation of TiAl Alloys in Commercial Aircraft Engines. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 2013. Vol. 1516. pp. 49-58. URL: <https://doi.org/10.1557/opl.2013.44>.
3. Firstov S. A. The main tendencies in elaboration of materials with high specific strength. *Metallic materials with high structural efficiency*. 2004. pp. 33-44. URL: [https://doi.org/10.1007/1-4020-2112-7\\_3](https://doi.org/10.1007/1-4020-2112-7_3)
4. Georgitzikis K., D`elia E., Eynard U. Titanium metal: Impact assessment for supply security. *European Commission*. 2022. JRC129594. URL: [https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC129594/JRC129594\\_01.pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC129594/JRC129594_01.pdf) (assessed 03 November 2023).
5. Gonchar A., Troshchylo V., Brodskyy A., Yarovynskyi V., Chukhmanov O. Development of a technology to produce titanium powder with a low carbon footprint. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 2. no. 6. Pp. 42-54. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276746>
6. Khalloufi M. El., Drevelle O., Soucy G. Titanium: An Overview of Resources and Production Methods. *Minerals*. 2021. 11(12). 1425. URL: <https://doi.org/10.3390/min11121425>
7. Kompan Ya.Yu. High-strength and heat-resistant alloys with intermetallic of MEM technology. *Proc. of the 10th world conf. on titanium*, Hamburg. 13-18 July, 2003. Vol. 1. Pp. 229-236.
8. Liu Q., Baker P., Zhao H. Titanium sponge production technology in China. In Venkatesh, V. et al. (Eds), *Proceedings of the 13th World Conference on Titanium: The Minerals, Metals & Materials Society*. 2016. Pp. 177-182. URL: <https://doi.org/10.1002/9781119296126.ch27> (дата звернення 03.11.2023).
9. Nyamekye P., Golroudbary S. R., Piili H., Luukka P., Kraslawski A. Impact of additive manufacturing on titanium supply chain: Case of titanium alloys in automotive and aerospace industries. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*. 2023. Vol. 6. 100112. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aime.2023.100112>.
10. Paton B. E., Trygub M. P., Akhonin S. V. Electron Beam Melting of Titanium, Zirconium and Their Alloys, E.O. Paton Electric Welding Institute. NASU. 2011. 216 p.

11. Qiuand G., Guo Y. Current situation and development trend of titanium metal industry in China. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. 2022. Vol. 29. No. 4. Pp. 599-610. URL: <https://doi.org/10.1007/s12613-022-2455-y>
12. Roux R. N., Van der Lingen E., Botha A.P., Botes A.E. The fragmented nature of the titanium metal value chain. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2020. Vol. 120. No. 11. Pp. 633–640. URL: <https://doi.org/10.17159/2411-9717/1126/2020>.
13. Yamauchi M., Saito H., Sugimoto T., Mori S., Saito S. Sustainable organic synthesis promoted on titanium dioxide using coordinated water and renewable energies/resources. *Coordination Chemistry Reviews*. 2022. Vol. 472. 214773. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2022.214773>.
14. Ахонін С.В., Северин А.Ю., Березос В.О., Пікулін О.М., Крижановський В.А., Єрохін О.Г. Дослідження якості деформованих напівфабрикатів титанового сплаву ВТ9, отриманого способом електронно-променевої плавки. *Сучасна електрометалургія*. 2021. № 4. С. 20-24. URL: <https://doi.org/10.37434/sem2021.04.03>
15. Капустян О.Є., Овчинников О.В., Янко Т.Б. Спечені титанові сплави для ядерної енергетики. *Питання атомної науки і техніки*. 2018. №1 (113). С. 134-141.
16. Карпець М.В., Фірстов С.О., Рокицька О.А., Крапивка Н.А. Вплив титану на фазовий склад сплавів системи Ti-Cr-Al-Si-O. *Міжнародна наукова конференція "Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 6"*, 1–2 грудня 2016 року, м. Київ. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2016. С. 309-312. URL: <http://surl.li/jvdut> (дата звернення 03.11.2023).
17. Лютий О. П. Пріоритет України у створенні наукових засад й інноваційних технологій металургії титану і його сплавів. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія : Історія і філософія науки і техніки*. 2016. Т. 24. Вип. 24. С. 153-160. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vduifnt\\_2016\\_24\\_24\\_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vduifnt_2016_24_24_23) (дата звернення 03.11.2023).
18. Педько А. Б., Губаренко Л.М., Волошина А.С. Оцінка поточного стану й основних проблем розвитку титанової промисловості України. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2018. Вип. 23. С. 287-291. URL: <http://global-national.in.ua/archive/23-2018/56.pdf> (дата звернення 03.11.2023).
19. Таранюк Л.М., Макаренко Т.Ю. Дослідження діяльності титанової галузі в системі формування євроінтеграційного розвитку економіки країни. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія "Економічні науки"*. 2019. Вип. 34. С. 41-44. URL: <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2019-34-8>.
20. Шелеметьєва Т. В. Підвищення ефективності промислового виробництва за рахунок зниження собівартості. *Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво*. 2012. № 4. С. 146-152.
21. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. Д. : Східний видавничий дім, 2013. Т. 3, С-Я. 644 с.

## References.

1. Banerjee, D. and Williams, J. C. (2013), Perspectives on Titanium Science and Technology, *Acta Materialia*, 61(3), pp. 844-879. URL: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2012.10.043>.
2. Bewlay, B. P., Weimer, M., Kelly, T., Suzuki, A. and Subramanian, P.R. (2013), The Science, Technology, and Implementation of TiAl Alloys in Commercial Aircraft Engines. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc*, vol. 1516, pp. 49-58. URL: <https://doi.org/10.1557/opl.2013.44>.
3. Firstov, S. A. (2004), The main tendencies in elaboration of materials with high specific strength. *Metallic materials with high structural efficiency*. 2004. pp. 33-44. URL: [https://doi.org/10.1007/1-4020-2112-7\\_3](https://doi.org/10.1007/1-4020-2112-7_3)
4. Georgitzikis, K., D'elia, E. and Eynard, U. (2022), Titanium metal: Impact assessment for supply security, *European Commission, JRC129594*. URL:

[https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC129594/JRC129594\\_01.pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC129594/JRC129594_01.pdf) (assessed 03 November 2023).

5. Gonchar, A., Troshchylo, V., Brodskyy, A., Yarovynskiy, V. and Chukhmanov, O. (2023), Development of a technology to produce titanium powder with a low carbon footprint, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, no. 6, pp. 42–54. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276746>

6. Khalloufi, M. El., Drevelle, O. and Soucy, G. (2021), Titanium: An Overview of Resources and Production Methods. *Minerals*, 11(12), 1425. URL: <https://doi.org/10.3390/min11121425>.

7. Kompan, Ya.Yu. (2003). High-strength and heat-resistant alloys with intermetallic of MEM technology. *Proc. of the 10th world conf. on titanium*, Hamburg. 13-18 July, vol. 1, pp. 229-236.

8. Liu, Q., Baker, P. and Zhao, H. (2016), Titanium sponge production technology in China. In Venkatesh, V. et al. (Eds), Proceedings of the 13th World Conference on Titanium: The Minerals, Metals & Materials Society, pp. 177-182. URL: <https://doi.org/10.1002/9781119296126.ch27> (дата звернення 03.11.2023).

9. Nyamekye, P., Golroudbary, S. R., Piili, H., Luukka, P. and Kraslawski, A. (2023), Impact of additive manufacturing on titanium supply chain: Case of titanium alloys in automotive and aerospace industries. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, vol. 6, 100112. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aime.2023.100112>.

10. Paton B. E., Trygub M. P. and Akhonin S. V. (2011), Electron Beam Melting of Titanium, Zirconium and Their Alloys, E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU, 216 p.

11. Qiuand, G. and Guo, Y. (2022), Current situation and development trend of titanium metal industry in China, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, vol. 29, No. 4, pp. 599-610. URL: <https://doi.org/10.1007/s12613-022-2455-y>

12. Roux, R. N., Van der Lingen E., Botha, A.P. and Botes, A.E. (2020), The fragmented nature of the titanium metal value chain, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, vol. 120, no. 11, pp. 633–640. URL: <https://doi.org/10.17159/2411-9717/1126/2020>.

13. Yamauchi, M., Saito, H., Sugimoto, T., Mori, S. and Saito, S. (2022), Sustainable organic synthesis promoted on titanium dioxide using coordinated water and renewable energies/resources, *Coordination Chemistry Reviews*, vol. 472, 214773. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2022.214773>

14. Akhonin, S. V., Severyn, A. Iu., Berezos, V. O., Pikulin, O. M., Kryzhanovskiy, V. A. and Yerokhin O. H. (2021), “Investigations of the quality of wrought semi-finished products of VT9 titanium alloy produced by electron beam melting”, *Suchasna elektrometalurhiia*, vol. 4, pp. 20-24. URL: <https://doi.org/10.37434/sem2021.04.03>

15. Kapustian, O.E., Ovchynnykov, O.V. and Yanko, T.B. (2018), “Sintered titanium alloys for nuclear power”, *Pytannia atomnoi nauky i tekhniky*, vol. 1, no. 113, pp. 134-141.

16. Karpets, M.V., Firstov, S.O., Rokytska, O.A. and Krapyvka, N.A. (2016), “The effect of titanium on the phase composition of alloys of the Ti-Cr-Al-Si-O system”, *Materialy dlia roboty v ekstremalnykh umovakh – 6* [Materials for work in extreme conditions – 6], Mizhnarodna naukova konferentsiia “Materialy dlia roboty v ekstremalnykh umovakh – 6” [International scientific conference “Materials for work in extreme conditions – 6”], 1-2 hrudnia 2016 roku, m. Kyiv, Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, pp. 309-312. URL: <http://surl.li/jvdut> (assessed 03 November 2023).

17. Liutyi, O. P. (2016), “Priorities of Ukraine in the creation of scientific principles and innovative technologies Metallurgy Titanium and its alloys”, *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Seriia : Istoriia i filozofia nauky i tekhniky*, vol. 24, is. 24. 153-160. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vduifnt\\_2016\\_24\\_24\\_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vduifnt_2016_24_24_23) (assessed 03 November 2023).

18. Pedko, A. B., Hubarenko, L.M. and Voloshyna, A.S. (2018), “The assessment of current state and main problems of titanium industry development in Ukraine”, *Hlobalni ta*

*natsionalni problemy ekonomiky*, issue 23, pp. 287-291, URL: <http://global-national.in.ua/archive/23-2018/56.pdf> (assessed 03 November 2023).

19. Taraniuk, L.M. and Makarenko, T.U. (2019), “Study of the activity of the titanium industry in the system of formation of the European integration development of the country's economy”, *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Seriya “Ekonomichni nauky”*, issue 34, pp. 41-44, URL: <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2019-34-8>.

20. Shelemetieva, T. V. (2012), “Shelemetieva T. Increase of efficiency of industrial production for account of decline of unit cost”, *Derzhava ta rehiony. Seriya: Ekonomika ta pidpriemnytstvo*, vol. 4, 146-152.

21. Small Mining Encyclopedia (2013): in 3 volumes (*in Ukrainian*) / Ed. V. Biletskyi. Donetsk: Skhidnyi Vydavnychi dim, vol. 3, 644 p.

*Стаття надійшла до редакції 03.10.2023 р.*

*Рецензовано 06.11.2023 р.*

*Опубліковано 30.11.2023 р.*

---

Дослідження виконано за кошти НАН України в рамках науково-дослідного проєкту “Інноваційна модернізація перспективних галузей промисловості України післявоєнного періоду на основі наявного науково-технічного, виробничого та ресурсного потенціалу”. Етап I: Розвиток стратегічно важливих видів промислової діяльності України на новітній технологічній основі (2023 р.) (номер державної реєстрації 0123U102325).