

Малишев Віктор Володимирович, професор, доктор хімічних наук, Приватний заклад вищої освіти «Міжнародний європейський університет», м. Київ, ORCID 0000-0003-2756-3236

Габ Ангеліна Іванівна, доцент, кандидат хімічних наук, доцент, Приватний заклад вищої освіти «Міжнародний європейський університет», м. Київ, ORCID 0000-0003-3162-7159

Шахнін Дмитро Борисович, доцент, кандидат хімічних наук, доцент, Приватний заклад вищої освіти «Міжнародний європейський університет», м. Київ, ORCID 0000-0001-9657-8621

Паламаренко Андрій Юрійович, аспірант, Запорізький національний університет
Скачкова Ксенія Євгеніївна, здобувач, Київський національний університет культури, м. Київ

МАРКЕТИГОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ СВІТОВОГО РИНКУ МАГНІЮ

Завдяки своїм унікальним фізичним, хімічним, механічним і біологічним властивостям магній широко використовують у багатьох галузях промисловості, зокрема, в автомобільній промисловості, космонавтиці та оборонній промисловості, будівництві, медицині та охороні здоров'я, харчовій промисловості, електротехніці та електроніці. Галузь виробництва та використання магнію постійно розвивається, займається пошуком нових сучасних методів одержання магнію та його сполук, які знаходять нове перспективне застосування.

Ринок магнію охоплює пошук нових джерел видобутку магнієвмісної сировини, розробку нових технологій одержання магнію, дослідження властивостей нових магнієвмісних матеріалів та можливостей їх використання. У 2024 році обсяг світового ринку магнію оцінювався в 5,62 млрд. дол. США і, за прогнозами, очікується його зростання до 5,92 млрд. дол. у 2025 році і до 9,50 млрд. дол. до 2034 року з сукупним середньорічним темпом зростання 5,39% з 2025 по 2034 рік.

Досліджено світовий ринок магнію та виявлено фактори позитивного і негативного впливу на нього. Відповідно до сегментації світового ринку магнію за типом виробничого процесу провідну позицію у 2022 р. займав сегмент термічного відновлення магній оксиду силіцієм з часткою 80 %; за складом продукту у 2023 р. – сегмент металевих магнію (39,2%); за географічними регіонами у 2024 р. – сегмент Азійсько-Тихоокеанського регіону (35%); за застосуванням у 2024 р. – сегмент алюмінієвих сплавів (34%); за галузями промисловості у 2022 р. – сегмент автомобільної промисловості (38%). Наведено основні стратегічні тенденції та напрямки подальшого розвитку світового ринку магнію.

Ключові слова: світовий ринок магнію, тенденції ринку, обмеження ринку, напрямки розвитку ринку, методи одержання магнію, сегментація ринку.

Вступ. Магній – це метал з низькою густиною ($1,739 \text{ г/см}^3$ при 293 К), відносно низькою температурою плавлення ($650 \text{ }^\circ\text{C}$) та високою хімічною реакційною здатністю. Його вміст у земній корі становить 1,87%, в т.ч. у морській воді – 0,12%. Він міститься у великих родовищах доломіту, магнезиту та інших мінералів і мінеральних водах. Магній має великий попит у будівництві та медицині. Крім того, він є одним із найважливіших елементів, необхідних для існування живих організмів. Він також є цінним металом для використання в хімічних джерелах струму та хімічному синтезі. Цей метал здебільшого отримують із морської води, яка містить близько 1,2 г магнію на кілограм морської води.

Низька густина і висока питома міцність (приблизно 130 кНм/кг) сприяють його широкому застосуванню в промисловості. Магній посідає третє місце після сталі й алюмінію за використанням у якості конструкційного матеріалу та є найреакційноздатнішим серед інженерних матеріалів [1].

Завдяки своїм хорошим електромагнітним екранувальним властивостям і теплопровідності магній є ідеальним матеріалом для лиття під тиском та виробництва алюмінієвих сплавів. У харчовій промисловості також зростає виробництво сплавів алюмінію та магнію, використовуваних для виготовлення банок для напоїв. Зростання попиту на металевий магній також визначається його застосуванням у процесі легування алюмінію в автомобільній промисловості [2-4]. Автори огляду [5] підкреслюють, що доступність магнію та унікальне поєднання властивостей зробили його також дуже привабливим та перспективним для біомедичних застосувань. Важливу роль відіграє магній у одному з основних промислових способів виробництва титану – магнієтермічному відновленні тетрахлориду титану [6, 7].

Метою статті є виявлення закономірностей, відслідковування сучасних тенденцій та інновацій розвитку світового ринку магнію.

Об'єктами дослідження є загальна характеристика, стан, фактори зростання, чинники впливу, обмеження, перспективи, методи одержання та сегментація світового ринку магнію.

Методика здійснення дослідження. При дослідженні були використані такі наукові методи: метод пошуку літературних даних з наукових публікацій та аналітичних звітів з досліджуваної тематики; метод аналізу літературних джерел; контент-аналіз документів; метод систематизації та класифікації при проведенні дослідження щодо досягнень сучасної науки у виробництві магнію.

Результати та їх обговорення. У 2024 році обсяг світового ринку магнію оцінювався в 5,62 млрд. дол. США і, за прогнозами, очікується його зростання до 5,92 млрд. дол. у 2025 році і до 9,50 до 2034 року із сукупним середньорічним темпом зростання (ССТЗ) 5,39% з 2025 по 2034 рік [8]. Зростання попиту на магнієву продукцію насамперед зумовлено її застосуванням при литті під тиском і виробництві алюмінієвих сплавів для різних галузей промисловості.

Ключові висновками щодо стану та перспектив світового ринку магнію:

- у 2024 році Азійсько-Тихоокеанський регіон домінував на ринку з найбільшою часткою ринку в 35%;
- передбачається значне зростання європейського ринку протягом прогнозованого періоду;
- у 2024 році за сферою застосування сегмент алюмінієвих сплавів домінував на ринку;
- відповідно до застосування, очікується, що спостерігатиметься значне зростання сегменту лиття під тиском протягом прогнозованого періоду.

Аналіз публікацій [2-4, 9, 10] дозволяє узагальнити фактори зростання світового ринку магнію: впровадження сучасних інфраструктурних і будівельних проєктів; збільшення використання магнію в галузі медицини та охорони здоров'я; досягнення у технологічних розробках виробництва магнію; зросла урбанізація та індустріалізація в країнах з економікою, що розвивається; збільшення застосування магнію в технологіях відновлюваної енергетики.

Динаміка світового ринку магнію включає чинники впливу на ринок, його обмеження та перспективи. Чинниками впливу на ринок є зростання потреби в легованих металах; впровадження удосконалених проєктів виробництва літаків, космічних кораблів і ракет; розробка акумуляторів на основі магнію; збільшення використання магнію в автомобілях; зросло занепокоєння забрудненням довкілля викидами палива.

Обмеження світового ринку магнію викликані екологічною політикою щодо зменшення шкоди навколишньому середовищу при видобутку магнію, який завдає шкоди стану ґрунтів та біорізноманіттю. Використання магнію у виробництві будівельних матеріалів може бути уповільнене через схильність цього металу та його сплавів реагувати з киснем. Ця властивість магнію також створює проблеми для аерокосмічної та автомобільної галузей, де корозійна стійкість використовуваних матеріалів має вирішальне

значення. Ще однією з проблем, з якими стикається ринок металевого магнію, є наявність альтернативних металів. Алюміній і цинк можна використовувати як заміники магнію в литих і кованих виробах. Висока вартість магнію є недоліком у порівнянні з цими заміниками. Замість магнію в процесах десульфуризації сталі та чавуну можна використовувати карбід кальцію. Таким чином, через значну доступність заміників ринок металевого магнію, за оцінками, зіткнеться з проблемами найближчими роками.

Основні перспективи світового ринку магнію пов'язані зі збільшенням його використання в електромобілях. Використання магнієвих матеріалів у електромобілях підвищує загальний запас ходу транспортних засобів і покращує пробіг на одному заряді батареї. Оскільки ринок електромобілів розширюється, різні компоненти транспортних засобів включатимуть металевий магній. Зважаючи на те, що споживачі все більше надають перевагу транспортним засобам із меншими викидами, очікується, що зміни в політиці щодо викидів і суворіші правила сприятимуть подальшому зростанню ринку магнію.

Занепокоєння щодо зміни клімату вимагає ретельної оцінки впливу на навколишнє середовище ланцюга постачання критично важливих матеріалів, таких як магній, що має широкий спектр застосувань. Прискорення колообігу цього матеріалу є життєво важливим для забезпечення його сталого використання. Однак систематичний аналіз сталості глобального виробництва магнію та його колообігу все ще відсутній. Автори дослідження [11] пропонують нову динамічну модель, засновану на геології та маршрутах переробки для кількісного визначення ключових екологічних проблем протягом життєвого циклу первинного та вторинного магнію. Споживання енергії, використання води та відповідні викиди оцінюються для переробки, включаючи функціональну (відновлений магній повторно використовується в замкнутому ланцюгу постачання) і нефункціональну (відновлений магній як елемент, використовуваний в алюмінієвих сплавах як ланцюг постачання з відкритим циклом), а також лиття та формування. Результати показують значний потенційний внесок циркуляції магнію в економію енергії (до 31 мільярда ГДж) і води (до 2,7 Км³), а також у пом'якшення викидів парникових газів (до 3 млрд. тонн CO₂) у всьому світі. Проте аналіз показує, що 87% вторинного магнію походить від нефункціональної переробки. Результат показує можливе збільшення нефункціональної переробки магнію з 612 тис. тонн у 2020 році до 1 млн. тонн у 2050 році, а також зростання функціональної переробки магнію з 96 тис. тонн у 2020 році до 161 тис. тонн у 2050 році [11]. Це викликає необхідність поліпшення ланцюга постачання магнію за допомогою технологічних розробок та операційних змін для забезпечення його сталого розвитку та переходу до циркулярної економіки.

Аналіз літературних даних [6, 9, 10, 12] виявляє, що однією з особливостей магнієвої промисловості є велика різноманітність виробничих процесів. Порівняно з галуззю, яка комерційно виробляє продукт протягом майже ста років, існує понад 10 різних процесів виробництва магнію. На відміну від багатьох інших галузей, немає жодної конкретної домінуючої технології, яка використовується для більшості світового виробництва. Велика кількість виробничих технологій зумовлена відмінностями основних параметрів виробничих процесів. Нижче наведено основні параметри, які відрізняють різні методи виробництва.

А. Сировина. Існує шість джерел сировини для виробництва магнію: магнезит, доломіт, бішофіт, карналіт, серпентин і морська вода. Ці джерела відрізняються вмістом магнію, методами виробництва та походженням. Деякі види сировини видобуваються в шахтах, інші утворюються в результаті різноманітних процесів, що здійснюються в морській воді та солоних озерах, а ще інші – із відходів процесу виробництва азбесту.

В. Матеріали та метод відновлення. Магній завжди знаходиться в природі в іонній формі. Ця обставина пов'язана з низькою енергією іонізації двох зовнішніх електронів. Низький стандартний відновний потенціал магнію є причиною відсутності металевого магнію в природі [8]: $Mg^{2+} + 2e^- = Mg$, $E^0 = -2,375$ В. Тому всі технології виробництва магнію потребують відновника, який може надати магнію два електрони. Відновниками можуть бути електричний струм із відповідним потенціалом (електрохімічні технології), вугілля в різних формах, матеріали на основі силікону (FeSi), кальцій карбід CaC₂ та алюміній (термічні технології). Всі електрохімічні технології використовують постійний струм, який проходить через електролізні комірки та розряджає йони хлору й магнію в газоподібний хлор та металевий магній. Термічні методи засновані на

нагріванні магnezії до різних температур у присутності різних відновних матеріалів. За певної температури відбувається реакція відновлення, і магній стає металом, зазвичай у газоподібній формі.

С. Виробничі температури. Максимальні температури в різних виробничих процесах знаходяться в діапазоні 655-1900 °С, що є дуже великим температурним діапазоном для процесу виробництва одного конкретного матеріалу. Загалом, процеси електрохімічного виробництва відбуваються в нижчому діапазоні температур виробництва, як правило, між 655-720 °С, тоді як процеси термічного відновлення – в діапазоні вищих температур, зазвичай між 900-1900 °С.

Д. Побічні продукти. Склад побічних продуктів різних методів залежить від складу сировини. Якщо основною сировиною є бішофіт або карналіт, то крім цільового продукту – магнію утворюються хлор та інші побічні продукти, склад яких залежить від компонентів вихідного матеріалу. Якщо основною сировиною є карналіт, побічними продуктами будуть хлор і калій хлорид, використання якого можливе при виробництві добрив.

Як зазначається в дослідженнях [13, 14], комерційне виробництво магнію здійснюється двома різними методами: електролізом магній хлориду та термічним відновленням оксигеновмісних сполук магнію. Наприкінці ХХ століття на частку виробництва магнію електролізом припадало близько 75% його світового виробництва. Але на початку ХХІ століття, коли Китай став провідним світовим виробником магнію, низька вартість робочої сили та енергії сприяли більшій економічності процесу термічного відновлення, незважаючи на його меншу ефективність порівняно з процесом електролізу.

Залежно від виробничого процесу ринок металевого магнію поділяється на процес Pidgeon, процес DOW і процес YSZ. Сегмент Pidgeon Process домінує на ринку з найбільшою часткою ринкового доходу (80% у 2022 році) [8]. Китай практично повністю переходить до силікотермічного процесу Pidgeon для видобутку металевого магнію. Процес забезпечує стабільний потік, невеликі інвестиції, хорошу якість магнію, короткий період будівництва та економне використання природного газу, вугілля та мазуту. Виробники в магнієвій промисловості застосовують цей процес для якісного виробництва металевого магнію.

Очікується, що сегмент процесу DOW (екстракція магнію у вигляді магній хлориду з морської води з осадженням магнію у вигляді магній гідроксиду і подальшим перетворенням у магній хлорид) зростатиме з найшвидшим ССТЗ протягом прогнозованого періоду через збільшення використання цього процесу на підприємствах Північної Америки. Процес YSZ – це новий процес твердооксидної мембранної технології, який передбачає електролітичне відновлення MgO. Цей процес забезпечує 40% зниження вартості порівняно з методом електролітичного відновлення.

В дослідженні [13] узагальнено, що існує три основних способи отримання металевого магнію методом термічного відновлення кремнієм.

(1) *метод Pidgeon* – прожарювання і змішування доломіту з феросиліцієм і флюоритом для отримання гранул, нагрівання і відновлення у вакуумній печі при 1100 °С для утворення парів магнію та інших речовин, конденсація пари магнію і переробка в магнієвий зливоч; цей метод високоенергоємний та складний в експлуатації;

(2) *Метод Magnetherm* – відновлення кальцинованого доломіту феросиліцієм у герметичній дугової печі з вуглеграфітовою футеровкою та нерухомим графітовим електродом з додаванням бокситу або алюміній оксиду у вигляді флюсу; цей метод має низьку витрату сировини, високий вихід і менше забруднення навколишнього середовища, але характеризується низькою якістю продукції, високим вмістом кремнію, тривалим часом виробництва.

(3) *Метод BolGNAO* – прожарювання доломіту і феросиліцію, відновлення у термічній вакуумній печі, конденсація пари магнію в металевий магній ззовні шляхом електричного нагрівання; цей спосіб знаходиться на стадії розробки і потребує суттєвих вдосконалень.

Сегментація світового ринку магнію за складом продукту. Відповідно до сегментації світового ринку магнію за складом продукту (магнієві сплави, магнієві сполуки, металевий магній), виконаного на основі даних аналітичного звіту [15], провідне стано-

вище у 2023 р. належало сегменту металевий магній (39,2%), йому практично не поступалися сегменти магнієві сплави (31,8%) та магнієві сполуки (29,0%) (рис. 1).

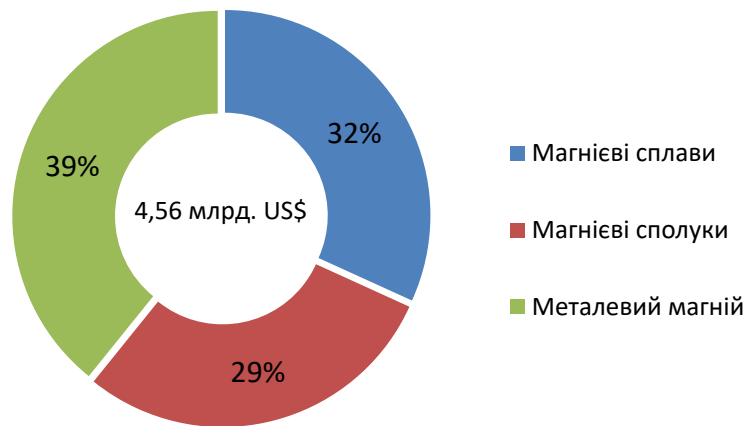


Рисунок 1 – Сегментація світового ринку магнію за складом продукту (2022 р.), %

Джерело: побудовано на основі даних [15]

Сегментація світового ринку магнію за географічними регіонами. У 2024 році обсяг ринку магнію в Азійсько-Тихоокеанському регіоні оцінювався в 1,97 млрд. дол. США та, за прогнозами, до 2034 року він перевищить 3,37 млрд. дол., зростаючи з ССТЗ 5,52% з 2025 по 2034 рік [8]. Частка ринку регіону на світовому ринку у 2024 році становила 35% (рис. 2). Азійсько-Тихоокеанський регіон домінує на світовому ринку магнію, незважаючи на зменшення частки ринку з 47% у 2021 році, завдяки:

- присутності в регіоні основних країн-виробників і споживачів;
- зрослому доходу на душу населення та урбанізації у поєднанні зі збільшенням населення в регіоні;
- значному збільшенню витрат на електромобільні проекти в Індії та Китаї;
- швидкому зростанню потреб військової авіації, аерокосмічної та космічної промисловості, харчової та пакувальної галузі;
- зростання урядових ініціатив та інвестицій у будівельний сектор, особливо в Китаї та Індії (Китай є найбільшим будівельним ринком у світі, і, згідно з прогнозами, у період з 2022 по 2030 рік середній щорічний приріст становить 8,6%; а федеральний уряд Індії має намір побудувати 20 мільйонів доступних будинків [16]);
- значущості сталеливарної промисловості в таких країнах, як Індія та Японія.

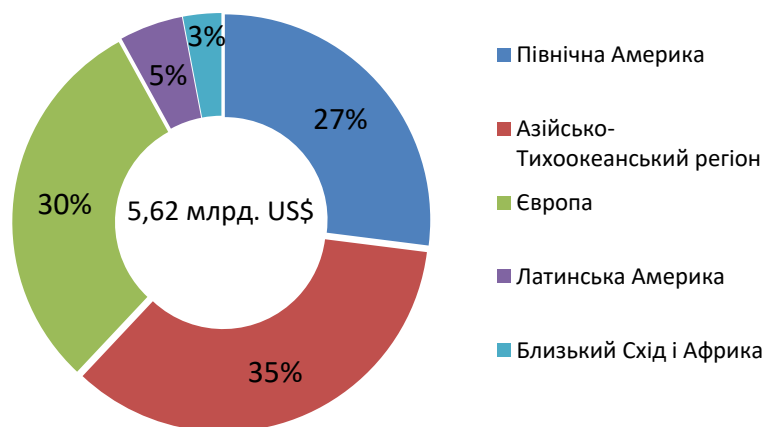


Рисунок 2 – Сегментація світового ринку магнію за географічними регіонами (2024 р.), %

Джерело: побудовано на основі даних [8]

India Brand Equity Foundation прогнозує, що до 2026 року автомобільна промисловість Індії досягне 300 млрд. дол. США, а річне виробництво автомобілів у Індії у 2022 році становило приблизно 23 млн. одиниць [8].

Контролюючи близько 85% світових поставок, виробництво Китаю значно впливає на тенденції ціноутворення та динаміку пропозиції. Китайські компанії підтримують низькі ціни на магній, перешкоджаючи новим учасникам ринку та зміцнюючи позиції Китаю на ринку [1].

Передбачається, що протягом прогнозованого періоду в Європі спостерігатиметься значне зростання ринку магнію. Німеччина є найбільшим у світі споживачем алюмінієвого лиття, головним чином через високий попит на алюмінієві деталі в автомобільному секторі. Зросла потреба в легких компонентах зумовлена потребою в економії палива та сучасними аеродинамічними розробками. У Німеччині, як провідного європейського виробника автомобілів, налічується 41 підприємство з виробництва автомобільних двигунів. Вона домінує на європейському автомобільному ринку і виробляє одну третину всіх автомобілів, проданих на континенті. Такі країни, як Німеччина, Франція та Велика Британія, роблять основний внесок у зростання попиту на магній у Європі. Крім того, очікується, що ініціативи Європейського Союзу щодо досягнення циркулярної економіки збільшать попит.

Світове виробництво магнію перевищило 1 млн. тонн у 8 країнах світу (Китай – 88,0%, росія – 4,6%, Ізраїль – 2,0%, Бразилія – 1,8%, Казахстан – 1,4%, Туреччина – 1,2%, США – 0,7%, Україна – 0,3%) [16]. Домінування Китаю багато в чому зумовлено використанням прогресивного виробничого процесу силікотермічного відновлення доломіту.

Сегментація світового ринку магнію за застосуванням. Відповідно до сегментації ринку за застосуванням (алюмінієві сплави, лиття під тиском, біологічна десульфурація, відновлення інших металів) сегмент алюмінієвих сплавів домінував на ринку магнію в 2024 році з часткою доходу 34% і, за прогнозами, буде зростати з ССТЗ 6,70% в період 2024 – 2030 років (рис. 3) [17]. Це пояснюється властивістю магнію підвищувати міцність сплаву та здатність до деформаційного зміцнення в суміші з іншими металами. Ці сплави здебільшого використовують у виробництві банок для напоїв. Окрім цього, їх можна застосовувати як конструкційні матеріали для виготовлення резервуарів під тиском і танкерів для хімічних речовин. Алюмінієві сплави містять від 1% до 10% магнію, що поліпшує механічні характеристики, а також стійкість до корозії алюмінієвих сплавів.

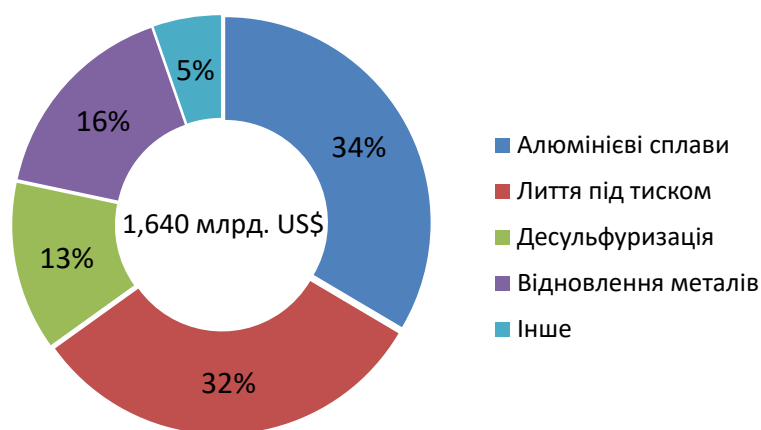


Рисунок 3 – Сегментація світового ринку магнію за застосуванням (2024 р.), %

Джерело: побудовано на основі даних [17]

На ринку магнію очікується значне зростання сегменту лиття під тиском протягом прогнозованого періоду в зв'язку зі збільшенням попиту на литі під тиском деталі в автомобільній промисловості через зрослу зацікавленість споживачів у легких авто-

мобілях. Масштабні інвестиції урядів розвинених країн для покращення інфраструктури сприятимуть зростанню сегменту десульфурації.

За даними дослідження [3] сегментацію світового ринку магнію за застосуванням можна представити за ширшим спектром сегментів (8 сегментів) (введено сегменти хімічна промисловість, ковані деталі, високоміцний чавун та електрохімічні виробництва) (рис. 4).

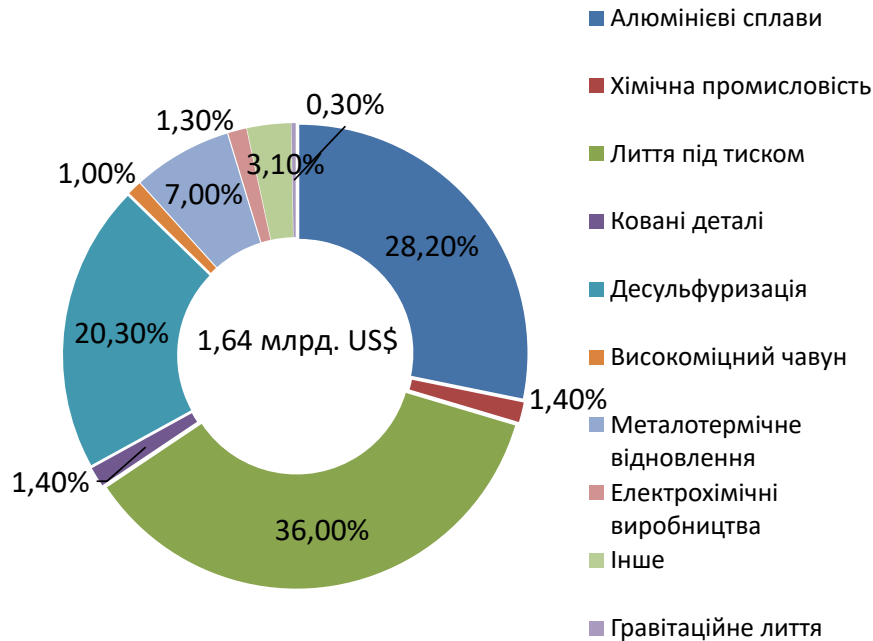


Рисунок 4 – Сегментація світового ринку магнію за кінцевим споживачем (2022 р.), %

Джерело: побудовано на основі даних [3]

За цією детальнішою сегментацією провідні позиції належать сегментам лиття під тиском (36,0%) та алюмінієві сплави (28,2%). Третім і четвертим за часткою доходу є сегменти десульфуризація (20,3%) і металотермічне відновлення (7,0%). Решта сегментів мають частки менше 3,1%.

Сегментація ринку магнію за галузями промисловості. Виходячи з галузей промисловості, ринок металевих магнію класифікується на авіаційну, автомобільну, електронну та інші галузі. Сегмент автомобільної промисловості домінував на ринку з найбільшою часткою ринкового доходу в 38% у 2022 році, та, за прогнозами, буде зростати з ССТЗ 6,70% протягом 2024-2030 років [18]. Домінування забезпечувалось такими обставинами:

- використання металевих магнію в автомобілях значно зменшує загальну вагу транспортних засобів (маса магнію на 36% менша за масу алюмінію і на 78% менша за масу заліза на одиницю об'єму);
- легований металевий магній має найвище співвідношення міцності до маси порівняно з іншими конструкційними металами;
- в автомобільній промисловості поширюється заміна сталевих та алюмінієвих деталей транспортних засобів на магнієві;
- збільшення виробництва та продажів електромобілів (за даними Міжнародного енергетичного агентства, у 2023 році продажі електромобілів досягли рекордних 3 мільйонів, що на 40% більше, ніж у 2020 році; за сценарієм чистих нульових викидів до 2050 року на дорогах буде 300 мільйонів електромобілів, на які припадає понад 60% продажів нових автомобілів, порівняно з лише 4,6% у 2023 році [19];
- використання магнію в транспортних засобах не тільки знижує витрати на транспортні засоби, але й дає змогу змістити центр ваги до задньої частини автомобіля,

що сприяє підвищенню безпеки автомобіля (поліпшення керованості та можливостей повороту, зменшення вібрації та загального шуму).

Очікується, що сегмент електроніки зростатиме з найшвидшим ССТЗ протягом прогнозованого періоду. Магнієві сплави широко застосовують у при виготовленні телевізорів, мобільних телефонів, комп'ютерів і рідкокристалічних дисплеїв. Металевий магній використовується як заміна пластмас, при необхідності використання теплопровідних деталей. Магнієві сплави легкі та міцні, вони мають хороші тепловідвідні характеристики. Тому зростає попит на магнієві сплави в портативних персональних комп'ютерах.

За даними дослідження [18] сегментацію світового ринку магнію з прогнозом на 2027 рік можна здійснити за галузями промисловості (рис. 5). За часткою доходу ринку сегменти розташувались у такій послідовності: автомобільна промисловість – 38,1%, аеронавігаційна промисловість – 26,3%, електроніка – 18,6%, інші галузі промисловості – 17%.

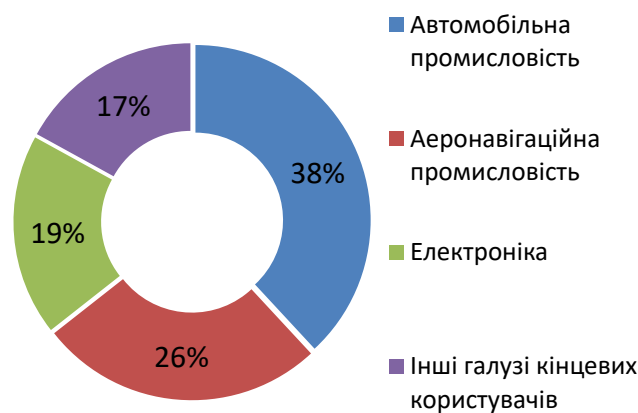


Рисунок 5 – Сегментація світового ринку магнію за галузями промисловості (2027 р.), %

Джерело: побудовано на основі даних [18]

За даними дослідження [19] сегментацію світового ринку за галузями промисловості з прогнозом на 2027 рік можна представити за більшою кількістю сегментів (рис. 6). Лідируватиме сегмент автомобільна промисловість з часткою доходу 33,7%. Сегменти космонавтика та оборона промисловості і електроніка за прогнозом матимуть частки 18,3% та 15,6% відповідно. Практично однакові частки доходу будуть мати сегменти будівництво (10,3%), медична допомога та охорона здоров'я (9,5%) і пакування (7,4%).

Стратегії розвитку світового ринку магнію. Можна підсумувати, що у виробництві та застосуванні магнію спостерігаються деякі невизначеності, пов'язанні з такими обставинами:

- величезними технічними проблемами та проблемами сталого розвитку при виробництві магнію як промислового металу;
- значними можливостями та суттєвими перешкодами для нових застосувань у біомедичних пристроях та енергетичних системах.

Аналіз та узагальнення результатів досліджень [3, 5, 9, 12] дають змогу визначити стратегії розвитку світового ринку магнію:

- без/низьковуглецеве виробництво первинного магнію – процес виробництва Pidgeon потребує значних удосконалень або поступового припинення через значні викиди вуглекислого газу; необхідно збільшити виробництво магнію альтернативними електролітичним або безвуглецевим термічним відновленням;
- збільшення обсягів переробки компонентів магнію в кінці терміну їх експлуатації (EOL product) – для цього важливо здійснювати сортування та збір магнієвого брухту для переробки та отримання вторинного магнію;

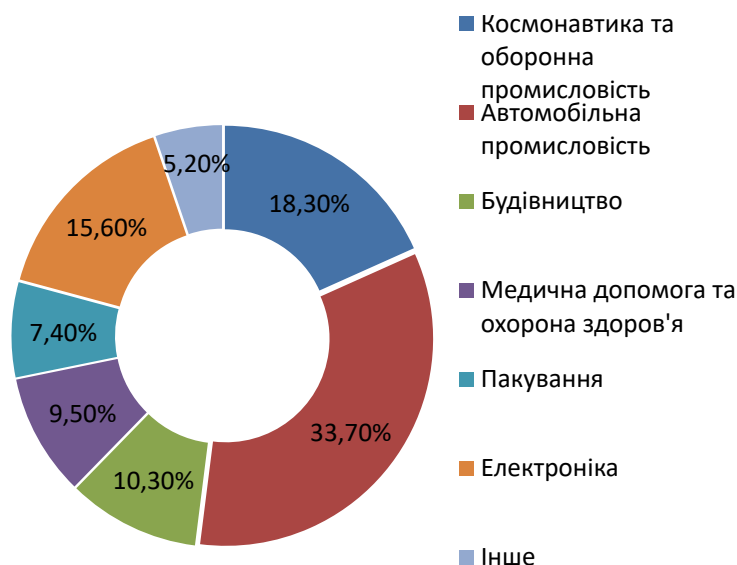


Рисунок 6 – Сегментація світового ринку магнію за галузями промисловості (2027 р.), %

Джерело: побудовано на основі даних [19]

- оцінювання загального життєвого циклу (LCA) для виробництва магнію з точки зору впливу на довкілля – пропонується провести міжнародне оцінювання за участю основних країн-виробників нейтральною організацією/комітетом для надання достовірних даних кінцевим користувачам з метою оцінки забруднення вуглецем, споживання енергії на різних етапах первинного та вторинного виробництва для зміцнення довіри до виробництва магнію як важливого промислового металу;
- розробка, виробництво та впровадження стійких до корозії (нержавних) магнієвих сплавів – фундаментальні дослідження механізмів корозії магнію призведуть до розробки технологій одержання корозійностійких магнієвих сплавів; сучасні дослідження показали перспективність використання сплавів магнію з кальцієм та рідкісноземельними металами;
- розробка вогнестійкого магнієвого сплаву – вогнестійкість є критичною вимогою для аерокосмічних застосувань, включаючи компоненти інтер'єру; було встановлено, що додавання кальцію та рідкісноземельних металів підвищує температуру займання магнієвих сплавів;
- розробка сплавів з високою тепло- та електропровідністю – застосування в електротехніці, електроніці та споживчих товарах часто вимагають тепло- та електропровідності для їх функціональності;
- розробка сучасних матеріалів на основі магнію – нові матеріали, включаючи композити з металевою матрицею (з мікро- та нанорозмірним армуванням), багатокомпонентні концентровані (з високою або середньою ентропією) сплави, функціонально градієнтні матеріали;
- розробка мега-лиття (виробництво великих окремих деталей) – однією з нових розробок для застосування алюмінію є велике тонкостінне лиття під тиском (мега/гіга лиття) для кузовів автомобілів з кращою здатністю до лиття;
- формування магнію за кімнатної температури – одержання магнієвих сплавів із кристалічною структурою за кімнатної температури мікролегуванням кальцієм або церієм зі зміною текстури та поліпшенням зернистості структури;
- адитивне виробництво (виготовлення виробу за даними тривимірної цифрової моделі методом пошарового додавання) – нові процеси для виготовлення невеликих обсягів продуктів магнію з використання системи автоматизованого проєктування та розрахунку готових виробів без застосування жорстких інструментів для персоналізованих медичних пристроїв;

- розробка магній-іонного акумулятора (магнієва батарея, яка використовує катіони магнію в якості активного агента переносу заряду) – Mg-іонний акумулятор є альтернативою Li-іонному акумулятору завдяки меншій вартості;
- зберігання водню – магній гідрид має вищу здатність зберігання водню і нижчу вартість порівняно з іншими металами, що утворюють гідриди.

Висновки.

1. Ринок магнію охоплює пошук нових джерел видобутку магнієвмісної сировини, розробку нових технологій одержання магнію та його сполук, дослідження методів отримання нових магнієвмісних матеріалів, їх властивостей та можливостей застосування. Магній широко використовують у багатьох галузях індустрії, зокрема, в автомобільній промисловості, космонавтиці та оборонній промисловості, будівництві, медицині та охороні здоров'я, харчовій промисловості, електротехніці та електроніці.

2. Обсяг світового ринку магнію у 2024 році оцінювався в 5,62 млрд. дол. США і, за прогнозами, очікується його зростання до 5,92 млрд. дол. у 2025 році і до 9,50 до 2034 року до приблизно 9,05 млрд. дол. із сукупним середньорічним темпом зростання 5,39% з 2025 по 2034 рік. Зростання попиту на магнієву продукцію насамперед зумовлене її застосуванням при литті під тиском і виробництві алюмінієвих сплавів для різних галузей промисловості.

3. Досліджено світовий ринок магнію та виявлено фактори позитивного і негативного впливу на нього. Наведено основні стратегічні тенденції та напрямки подальшого розвитку світового ринку магнію.

4. Відповідно до сегментації світового ринку магнію за типом виробничого процесу провідну позицію у 2022 р. займав сегмент термічного відновлення магній оксиду силіцієм з часткою 80 %; за складом продукту у 2023 р. – сегмент металевого магнію (39,2%); за географічними регіонами у 2024 р. – сегмент Азійсько-Тихоокеанського регіону (35%); за застосуванням у 2024 р. – сегмент алюмінієвих сплавів (34%); за кінцевим споживачем у 2022 р. – також сегмент алюмінієвих сплавів (28,2%); за галузями промисловості у 2022 р. – сегмент автомобільної промисловості (38%)

Бібліографічний перелік

1. Abbasi I. Magnesium Alloys: Trends, Applications, and New Technologies. AZoM. 2024. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. Режим доступу: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleD=1801>. (дата звернення 19.05.2025) – Назва з екрана.
2. Satya Prasad S.V., Prasad S.B., Verma K., Mishra R.K., Kumar V., Singh S. The role and significance of Magnesium in modern day research-A review. Journal of Magnesium and Alloys. 2022. Vol. 10, Iss. 1. P. 1-61. DOI: 10.1016/j.jma.2021.05.012.
3. Zhang J., Miao J., Balasubramani N., Cho D.H., Avey T., Chang C.-Y., Luo A.A. Magnesium research and applications: Past, present and future. Journal of Magnesium and Alloys. 2023. Vol. 11, Iss. 11. P. 3867-3895. DOI: 10.1016/j.jma.2023.11.007.
4. Chen J., Chen B. Progress in Additive Manufacturing of Magnesium Alloys: A Review. Materials. 2024. Vol. 17, Iss. 15. P. 3851. DOI: 10.3390/ma17153851.
5. Tan J., Ramakrishna S. Applications of Magnesium and Its Alloys: A Review. Applied Sciences. 2021. Vol. 11, Iss. 15. P. 6861. DOI: 10.3390/app11156861.
6. Верховлюк А.М. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: Навч. посібник / А.М. Верховлюк, А.В. Нарівський, В.Г. Могилатенко / За ред. академіка НАН України В.Л. Найдека. – К.: Видавничий дім "Вінніченко", 2016. – 224 с. ISBN: 966-2622023-2.
7. Малишев В.В., Шахнін Д.Б., Габ А.І., Скачкова К.Є. Маркетингові дослідження світового ринку титану. Збірник наукових праць "Металургія". 2024. Вип. 1-2. С. 21-32. DOI: 10.26661/2071-3789-2024-1-2-03.
8. Magnesium Market Size, Share, and Trends 2025 to 2034. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. Режим доступу: <https://www.precedenceresearch.com/magnesium-market>. (дата звернення 19.05.2025) – Назва з екрана.
9. Yang Y., Xiong X., Chen J., Peng X., Chen D., Pan F. Research advances of magnesium and magnesium alloys worldwide in 2022. Journal of Magnesium and Alloys. 2023. Vol. 11, Iss. 8. P. 2611-2654. DOI: 10.1016/j.jma.2023.07.011.
10. Chen J., Chen B. Progress in Additive Manufacturing of Magnesium Alloys: A Review. Materials. 2024. Vol. 17, Iss. 15. P. 3851. DOI: 10.3390/ma17153851.
11. Rahimpour Golroudbary S., Makarava I., Kraslawski A. Environmental Assessment of Global Magnesium Production. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2022. Vol. 44. Iss. 6.

P. 389–406. DOI: 10.1080/08827508.2022.2084734.

12. Aghion E., Golub G. Production Technologies of Magnesium. In: Magnesium Technology. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. DOI: 10.1007/3-540-30812-1_2.

13. Three methods of producing metallic magnesium. 2021. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. Режим доступу: <https://www.fffalloy.com/info/three-methods-of-producing-metallic-magnesium-64877182.html>. (дата звернення 19.05.2025) – Назва з екрана.

14. Rizley J.H., Нюй-Petersen N. Magnesium processing. Encyclopedia Britannica. 2020. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. Режим доступу: <https://www.britannica.com/technology/magnesium-processing>. (дата звернення 19.05.2025) – Назва з екрана.

15. Magnesium Metal Market – Global Industry Analysis and Forecast (2024-2030). [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. Режим доступу: <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-magnesium-metal-market/65286/> (дата звернення 19.05.2025) – Назва з екрана.

16. Globalmagnesiumproductionanddemandwillcontinuetogrowinthenext10years. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. Режим доступу: <https://news.metal.com/newscontent/101592227/Global-magnesium-production-and-demand-will-continue-to-grow-in-the-next-10-years/> (дата звернення 19.05.2025) – Назва з екрана.

17. Magnesium Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, By Application (Aluminum Alloying, Die Casting, Desulfurization, Metal Reduction, and Others) and Regional Forecast, 2020-2027. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. Режим доступу: <https://www.fortunebusinessinsights.com/magnesium-market-104713>. (дата звернення 19.05.2025) – Назва з екрана.

18. Global Metal Magnesium Market by Production Process (Pidgeon Process, Dow Process, and YSZ Process), by Application (Die Casting, Aluminum Alloys, Titanium Reduction, Iron & Steel Making), by End-User Industry (Aeronautical, Automotive, Electronics), by Region and Companies – Industry Segment Outlook, Market Assessment, Competition Scenario, Trends, and Forecast 2023-2032. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. Режим доступу: <https://market.us/report/metal-magnesium-market/> (дата звернення 19.05.2025) – Назва з екрана.

19. Magnesium Metal Market Overview. [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. Режим доступу: <https://www.industryarc.com/Report/16106/magnesium-metal-market.html>. (дата звернення 19.05.2025) – Назва з екрана.

References

1. Abbasi I. Magnesium Alloys: Trends, Applications, and New Technologies. AZoM. 2024. [Electronic resource] : [Website]. Access mode: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleD=1801>. (date of application 19.05.2025) – Title from the screen.

2. Satya Prasad S.V., Prasad S.B., Verma K., Mishra R.K., Kumar V., Singh S. The role and significance of Magnesium in modern day research-A review. Journal of Magnesium and Alloys. 2022. Vol. 10, Iss. 1. P. 1-61. DOI: 10.1016/j.jma.2021.05.012.

3. Zhang J., Miao J., Balasubramani N., Cho D.H., Avey T., Chang C.-Y., Luo A.A. Magnesium research and applications: Past, present and future. Journal of Magnesium and Alloys. 2023. Vol. 11, Iss. 11. P. 3867-3895. DOI: 10.1016/j.jma.2023.11.007.

4. Chen J., Chen B. Progress in Additive Manufacturing of Magnesium Alloys: A Review. Materials. 2024. Vol. 17, Iss. 15. P. 3851. DOI: 10.3390/ma17153851.

5. Tan J., Ramakrishna S. Applications of Magnesium and Its Alloys: A Review. Applied Sciences. 2021. Vol. 11, Iss. 15. P. 6861. DOI: 10.3390/app11156861.

6. Верховлюк А.М. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: Навч. посібник / А.М. Верховлюк, А.В. Нарівський, В.Г. Могилатенко / За ред. академіка НАН України В.Л. Найдека. – К.: Видавничий дім “Вініченко”, 2016. – 224 с. ISBN: 966-2622023-2.

7. Malyshev V.V., Shakhnin D.B., Hab A.I., Skachkova K.Ye. Marketing Research of the Global Titanium Market. Collection of Scientific Works "Metallurgy". 2024. Issues 1–2. pp. 21–32. DOI: 10.26661/2071-3789-2024-1-2-03.

8. Magnesium Market Size, Share, and Trends 2025 to 2034. [Electronic resource] : [Website]. Access mode: <https://www.precedenceresearch.com/magnesium-market>. (date of application 19.05.2025) – Title from the screen.

9. Yang Y., Xiong X., Chen J., Peng X., Chen D., Pan F. Research advances of magnesium and magnesium alloys worldwide in 2022. Journal of Magnesium and Alloys. 2023. Vol. 11, Iss. 8. P. 2611-2654. DOI: 10.1016/j.jma.2023.07.011.

10. Chen J., Chen B. Progress in Additive Manufacturing of Magnesium Alloys: A Review. Materials. 2024. Vol. 17, Iss. 15. P. 3851. DOI: 10.3390/ma17153851.

11. Rahimpour Golroudbary S., Makarava I., Kraslawski A. Environmental Assessment of Global Magnesium Production. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2022. Vol. 44, Iss. 6. P. 389–406. DOI: 10.1080/08827508.2022.2084734.

12. Aghion E., Golub G. Production Technologies of Magnesium. In: Magnesium Technology. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. DOI: 10.1007/3-540-30812-1_2.
13. Three methods of producing metallic magnesium. 2021. [Electronic resource] : [Website]. Access mode: <https://www.fffalloy.com/info/three-methods-of-producing-metallic-magnesium-64877182.html>. (date of application 19.05.2025) – Title from the screen.
14. Rizley J.H., Høy-Petersen N. Magnesium processing. Encyclopedia Britannica. 2020. [Electronic resource] : [Website]. Access mode: <https://www.britannica.com/technology/magnesium-processing>. (date of application 19.05.2025) – Title from the screen.
15. Magnesium Metal Market – Global Industry Analysis and Forecast (2024-2030). [Electronic resource] : [Website]. Access mode: <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-magnesium-metal-market/65286/> (date of application 19.05.2025) – Title from the screen.
16. Global magnesium production and demand will continue to grow in the next 10 years. [Electronic resource] : [Website]. Access mode: <https://news.metal.com/newscontent/101592227/Global-magnesium-production-and-demand-will-continue-to-grow-in-the-next-10-years/> (date of application 19.05.2025) – Title from the screen.
17. Magnesium Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, By Application (Aluminum Alloying, Die Casting, Desulfurization, Metal Reduction, and Others) and Regional Forecast, 2020-2027. [Electronic resource] : [Website]. Access mode: <https://www.fortunebusinessinsights.com/magnesium-market-104713>. (date of application 19.05.2025) – Title from the screen.
18. Global Metal Magnesium Market by Production Process (Pidgeon Process, Dow Process, and YSZ Process), by Application (Die Casting, Aluminum Alloys, Titanium Reduction, Iron & Steel Making), by End-User Industry (Aeronautical, Automotive, Electronics), by Region and Companies – Industry Segment Outlook, Market Assessment, Competition Scenario, Trends, and Forecast 2023-2032. [Electronic resource] : [Website]. Access mode: <https://market.us/report/metal-magnesium-market/> (date of application 19.05.2025) – Title from the screen.
19. Magnesium Metal Market Overview. [Electronic resource] : [Website]. Access mode: <https://www.industryarc.com/Report/16106/magnesium-metal-market.html>. (date of application 19.05.2025) – Title from the screen.

Malyshev Viktor, professor, doctor of chemical sciences, International European University, Kyiv

Gab Angelina, associate professor, candidate of chemical sciences, associate professor, International European University, Kyiv

Shakhnin Dmytro, associate professor, candidate of chemical sciences, associate professor, International European University, Kyiv

Palamarenko Andriy, postgraduate student, Zaporizhzhia National University

Skachkova Kseniya, student, Kyiv National University of Culture, Kyiv

MARKETING RESEARCH OF THE GLOBAL MAGNESIUM MARKET

Due to its unique physical, chemical, mechanical and biological properties, magnesium is widely used in many industries, in particular, in the automotive industry, aerospace and defense industry, construction, medicine and healthcare, food industry, electrical engineering and electronics. The industry of production and use of magnesium is constantly developing, is engaged in the search for new modern methods of obtaining magnesium and its compounds, which find new promising applications.

The magnesium market covers the search for new sources of magnesium-containing raw materials, the development of new technologies for obtaining magnesium, research into the properties of new magnesium-containing materials and the possibilities of their use. In 2024, the volume of the global magnesium market was estimated at 5.62 billion USD and, according to forecasts, is expected to grow to 5.92 billion USD in 2025 and to 9.50 billion USD by 2026. by 2034 with a compound annual growth rate of 5.39% from 2025 to 2034.

The global magnesium market was studied and factors of positive and negative impact on it were identified. According to the segmentation of the global magnesium market by type of production process, the leading position in 2022 was occupied by the thermal reduction of magnesium oxide with silicon with a share of 80%; by product composition in 2023 – the

segment of metallic magnesium (39.2%); by geographical regions in 2024 – the segment of the Asia-Pacific region (35%); by application in 2024 – the segment of aluminum alloys (34%); by industry in 2022 – the segment of the automotive industry (38%). The main strategic trends and directions of further development of the global magnesium market are presented.

Keywords: global magnesium market, market trends, market limitations, market development directions, magnesium production methods, market segmentation.