

Дзяди́кевич Ю.

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЖАРОСТІЙКОСТІ ВИРОБІВ ІЗ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛІВ ВІД ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОКИСЛЕННЯ

*Проаналізовано основні напрямки підвищення жаростійкості тугоплавких матеріалів. Досліджено комплексний підхід до розв'язання проблеми захисту тугоплавких матеріалів від окислення. Показано, що дифузійно-шлікерна композиція ефективно підвищує жаростійкість виробів із тугоплавких матеріалів.*

Тугоплавкі метали і сплави на їх основі мають унікальний комплекс фізико-механічних і хімічних властивостей, що забезпечило їм широке застосування в різних галузях промисловості. Однак сучасний розвиток техніки характерний тим, що неухильно підвищуються робочі температури, знакозмінні навантаження, і виробни експлуатують в умовах впливу агресивних середовищ. У зв'язку з цим застосовувані у високотемпературній техніці матеріали мають відповідати дедалі вищим вимогам.

Цю складну проблему розв'язують різними шляхами. Одним із напрямків є легування тугоплавких металів [1, 2]. Використовують поверхневе й об'ємне легування. Розроблено низку сплавів на основі тугоплавких металів, легованих багатьма елементами, що дає змогу значно підвищити ресурс роботи виробів. Однак глибоке легування, що запобігає виникненню значної кількості  $Me_xO_y$  в оксидному шарі, призводить до зменшення міцності сплавів.

Для захисту від окислення конструкцій із тугоплавких металів широко застосовують окалиностійкі покриття [3], що відрізняються простотою та зручністю технологічного оформлення, можливістю нанесення їх на різні поверхні деталей. Шляхом підбору компонентів можна значно підвищити жаростійкість захисного шару.

Жаростійкість елементів конструкцій із тугоплавких металів збільшують, застосовуючи металопокриття [4]. Для цього використовують різні методи, що забезпечують формування одно- і двошарових металевих покриттів, котрі містять олово, хром, алюміній, цинк, титан [5–7]. Захисний ефект спостерігається при температурах експлуатації до 1100 °С. Подальше підвищення температури призводить до зростання інтенсивності дифузійних процесів на межі покриття–тугоплавкий метал, унаслідок чого ресурс роботи покриття різко зменшується.

Нині найпоширенішим типом захисних високотемпературних покриттів для виробів із молібденових сплавів, які працюють в окислювальних середовищах, є силіцидні покриття, що здатні формувати на поверхні самозаліковуючу окисидну плівку [8]. Із всіх силіцидів найефективніший – дисиліцид молібдену [9]. Вивчення ізотерм окислення молібденового сплаву зі захисним покриттям показало, що силіцидне покриття товщиною шару 100 мкм ефективно захищає сплав від високотемпературної корозії до 1400 °С протягом 20 год. [10]. Невисокий ресурс роботи покриття можна пояснити тим, що в інтервалі температур 1200–1300 °С відбувається його руйнування саме в місці виходу тріщини на поверхню. Підвищити самозаліковуючу здатність покриття можна шляхом створення під час його окислення двофазової системи, в якій скелет із  $\text{MoSi}_2$  був би заповнений більш легкоплавкою оксидною фазою, котра при температурі 1300 °С розплавлялася б і переходила у в'язко-текучий стан, заліковуючи дефекти, що утворюються. Як легуючі добавки були вибрані марганець і бор [11]. Легування дає змогу зберегти самозаліковуючу здатність покриття і тим підвищити його жаростійкість навіть за великорозмірних дефектів. Уведення бору в покриття збільшує його оптимальну товщину порівняно з нелегованим, і це сприяє підвищенню захисного ресурсу [12]. Водночас поліпшується пластичність легованого силіцидного шару, що забезпечує високу його стійкість в умовах термоциклювання.

Жаростійкість і термостійкість силіцидного покриття на молібдені значно підвищуються, якщо шар  $\text{MoSi}_2$  легувати оловом, алюмінієм, хромом, титаном, германієм, берилієм і залізом [13–16]. Висока жаростійкість покриттів у діапазоні температур 1300–1450 °С зумовлена утворенням суцільної склоподібної плівки диоксиду кремнію, яка при вмісті невеликої кількості легуючих елементів більш легкоплавка, ніж нелегована, має велику текучість, здатна заліковувати дефекти, що утворюються, та полегшує релаксацію термічних напруг під час різкої зміни температури виробу.

Із підвищенням температури експлуатації силіцидного покриття чинник дифузійного розчинення дисиліциду молібдену в металевій основі є домінуючим. Наприклад, шар  $\text{MoSi}_2$  товщиною 100 мкм при 1500 °С повністю переходить у слабозахисний нижчий силіцид  $\text{Mo}_5\text{Si}_3$  за 50–60 год. [17]. Використання товстіших покривів не дає бажаних результатів, оскільки зі збільшенням товщини в захисному шарі ростуть тріщини, що приводить до зменшення терміну служби покриття. Значно загальмувати небажані дифузійні процеси, що відбуваються на межі покриття основи, можна, створюючи бар'єрні шари [18,19]. Відомо [20], що межа фаз є бар'єром для дифундуючих атомів, і в багатошарових покриттях швидкість дифузії нижча, ніж в одношарових. Окрім того, швидкість дифузії тим менша, чим щільніше упакована структура і чим вища енергія зв'язку

між атомами. Отже, карбіди та бориди металів IV і Va груп можуть слугувати бар'єром для дифузії атомів кремнію.

Найефективнішої стабілізації оксидної плівки і гальмування дифузійного розчинення вищого силіциду молібдену в основі досягають при двостадійному боросиліціюванні молібдену [18, 19]. Боридний підшар на порядок понижує швидкість дифузійного перетворення  $\text{MoSi}_2 \rightarrow \text{Mo}_5\text{Si}_3$ , збільшуючи таким чином термін служби покриття. Гальмування дифузії спостерігається в таких випадках, коли дифундуючий елемент утворює багатокомпонентні фази, що приводить до пониження його хімічного потенціалу. Це реалізується у боросиліцидному покритті на молібдені з утворенням потрібної фази  $\text{Mo}_5(\text{Si},\text{B})_3$ , що різко гальмує дифузію кремнію в металеву основу [21–23]. Формування силікобориду молібдену дає змогу підвищити термін служби покриття в статичних умовах експлуатації до 1000 год. при 1500 °C, тобто на порядок більше порівняно зі звичайним силіціюванням [4,17].

При окисленні боросиліційованого молібдену в інтервалі температур 1700–1750 °C суттєву роль відіграє процес випаровування кремнію з поверхні у вигляді монооксиду, який знижує ефективність захисної дії покриття, оскільки зменшується товщина оксидної плівки [24]. Понизити швидкість випаровування кремнію можна, легуючи силіцидний шар покриття елементами, оксиди яких мають низьку пружність пари і високу термічну стабільність. Такими елементами можуть бути метали IVa групи.

Для збільшення відносної долі масопереносу легуючого металу та пониження термодинамічної активності кремнію використовували насичуюче середовище, що містить вищі силіциди металів IVa групи, а також  $\text{WSi}_2$  і  $\text{MoSi}_2$ . Речовиною, яка містила бор, були бориди металів цієї ж групи і бориди молібдену [25]. Легування шару вищого силіцида металами, що утворюють тугоплавкі оксиди, зменшує швидкість випаровування кремнію у вигляді  $\text{SiO}$  і забезпечує покриттю високу жаростійкість при температурах до 1950 °C [26].

Однак необхідно мати на увазі, що при температурах вище 2000°C швидкість дифузії кисню в тугоплавних оксидах дуже велика. У зв'язку з тим необхідно вишукувати складні фази з високою температурою плавлення та низькою дифузійною рухливістю компонентів.

Розробляючи жаростійкі покриття для захисту тугоплавких металів від окислення, багато хто з дослідників керуються тим, що на покриття однорідного складу і певної товщини покладають виконання одночасно різних функцій. Як показує практика експлуатації захисних покриттів, досягнути цього неможливо, і такий підхід гальмує розв'язання проблеми підвищення жаростійкості тугоплавких металів шляхом застосування високотемпературних покриттів.

Перспективним напрямом захисту виробів із тугоплавких металів від окислення є створення з допомогою газофазного, порошкового та лікерного методів композиції, що складається з кількох шарів, і кожний шар виконує тільки визначену функцію: зовнішній (шлікерний) – забезпечує жаростійкість дифузійній композиції, завдяки утворенню оксидної плівки з високою температурою плавлення, густиною та щільністю; бар'єрний – перешкоджає взаємодії окалиностійкої складової дифузійної частини покриття з основою; дифузійний – сприяє релаксації напруг у покритті при багаторазовій зміні температурного режиму, забезпечує плавну зміну КТР між основою і покриттям, а також поліпшує адгезію між дифузійною і нашарованою частинами покриття [27]. Така композиція відповідає вимогам до високотемпературного покриття, а саме:

1) матеріал покриття має бути сумісним із матеріалом основи в межах робочих температур і протягом усього ресурсу роботи;

2) жаростійке покриття має виконувати роль дифузійного бар'єру, який перешкоджає би переміщенню атомів основи на межу з окислюючим середовищем, або в процесі експлуатації має утворювати складні сполуки з аналогічною функцією;

3) значення КТР покриття та основи або дифузійних шарів, що утворюють композицію, мають бути близькими, оскільки їх велика різниця в умовах різкої зміни температурного режиму призводить до руйнування покриття;

4) у процесі формування покриття або під час його експлуатації на поверхні захисного шару має утворюватись оксидна плівка з високою температурою плавлення, великим температурним проміжком межових значень в'язкості й великою густиною та щільністю;

5) захисна оксидна плівка не повинна утворювати легкоплавких і летких сполук із елементами, що є в покритті й газовому середовищі, а зустрічна дифузія атомів (іонів) основи і кисню має бути мінімальною;

6) покриття має бути здатним до самозаліковування, а також бути нечутливим до невеликих пошкоджень із метою запобігання руйнуванню і катастрофічному окисленню матеріалу основи;

7) високотемпературне покриття має відрізнятися високою термостійкістю і ресурсом роботи;

8) процес отримання покриття має бути простим, доступним і передбачати можливість нанесення захисного шару на окремі елементи виробу або на випадково пошкоджені при використанні, а також повторне його формування на раніше експлуатованих виробах.

Покриття, що відповідає окресленим вимогам, матиме високу жаростійкість і здатність захищати різні вироби з тугоплавких металів від високотемпературної газової корозії.

Практика експлуатації захисних покриттів у галузі високих температур свідчить про те, що однією з причин їх передчасного руйнування є переміщення елементів проникнення з основи в покриття, внаслідок чого змінюється його склад та погіршуються захисні властивості (порушення суцільності захисної оксидної плівки). Відомі різні засоби виведення шкідливих домішок із тугоплавких металів, однак найперспективнішим є, на нашу думку, обробка, за якою метали нагрівають у замкнутому просторі, а гази поглинають хімічно активні речовини – геттери.

Дифузійне очищення забезпечує виведення з металевої основи (Mo, W) до 30% елементів проникнення, внаслідок чого коефіцієнт пластичності листового прокату збільшується в 3–4 рази порівняно з необробленим [28]. Окрім того, така обробка сприяє формуванню дифузійних покриттів із дрібнозернистою структурою, а також підвищує швидкість зростання боридних і силіцидних шарів.

Відомо [22], що ресурс роботи боросиліцидного покриття залежить від високотемпературної стабільності боридних фаз, які сповільнюють процес перетворення силіцидних фаз  $MSi_2$  в  $M_5Si_3$ , а також від товщини силіцидного шару, лімітуючого формування захисної плівки. Установлено [29], що покриття, отримане за участю потрійних боридних силіцидних фаз, сприяє підвищенню його термостабільності та опору окисленню.

Підвищити термін служби покриття можна шляхом нанесення на його поверхню силіцид-окисної композиції, компоненти якої мають високу температуру плавлення, не утворюють легкоплавких та легких сполук як із елементами, що є в окислювальному середовищі, так і в дифузійному покритті, а також у них мінімальна зустрічна дифузія атомів (іонів) металу та неметалу [30].

Цим вимогам найповніше відповідають оксиди цирконію, гафнію, ітрію, алюмінію та ін. [31–33]. У зв'язку з тим для розроблення високотемпературної композиції як наповнювач використовували оксидну цирконієво-ітрієву кераміку ЦИС-2, що містить (мас. %): 72–78 ( $ZrO_{2+t}HfO_2$ ) і 28–22  $Y_2O_3$  [34]. Основою слугував дисиліцид молібдену, котрий забезпечує надійне закріплення композиції на поверхні спеченого силіцидного шару. Установлено, що найякісніше нашароване покриття формується при товщині шлікерного шару не більше 250 мкм. Металографічний аналіз покритих зразків показав, що сформоване покриття на тугоплавких металах складається з дифузійної зони та шлікерної частини, і є композицією на основі дисиліциду молібдену, який армований тугоплавкими оксидами. Після високотемпературного обпалювання (1873К) на поверхні багатощарового покриття утворюється захисна плівка, що містить, окрім силіцидів молібдену, оксиди  $ZrO_2$ ,  $HfO_2$ ,  $Y_2O_3$  та ін.

Дослідження впливу температури та тривалості експозиції на процес окислення багат шарової композиції, яке було виконане відповідно до методики [35], дало змогу побудувати параметричну діаграму жаростійкості покриття на тугоплавких металах і оцінити дійсну швидкість окислення матеріалу композиції, що була визначена за величинами відносних втрат її маси (табл. 1). Окрім цього, це дало змогу розрахувати допустиму температуру експлуатації покриття при його ресурсі роботи (5000 год.) а також максимально допустиме перегрівання матеріалу композиції (табл. 2). Найменш чутливе до перегрівання покриття на танталі та вольфрамі, а найбільш – на ніобії і молібдені. Це свідчить про те, що за достатньо великого ресурсу роботи покриття (5000 год.) багат шарова композиція малосприйнятлива до підвищення температури експлуатації щодо номінальної. Одержані результати (табл. 2) дають змогу зробити висновок, що номінальну температуру роботи покриття на тугоплавких металах можна підвищити на 100–150 К.

Таблиця 1

**Параметри процесу окислення багат шарових покриттів  
на Nb, Ta, Mo, W у діапазоні температур  
1573–1773 і 1773–1973 К відповідно**

| Осно-<br>ва | T <sub>випр</sub> ,<br>К | τ, год         |                | q, г/см <sup>2</sup> |                      |                       |                      | E <sub>a</sub> ,<br>кДж/<br>моль |
|-------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------------|
|             |                          | τ <sub>1</sub> | τ <sub>2</sub> | q <sub>1</sub>       | q <sub>2</sub>       | q <sub>1min</sub>     | q <sub>2max</sub>    |                                  |
| Nb          | 1673                     | 10             | 100            | 1.9x10 <sup>-6</sup> | 2.0x10 <sup>-5</sup> | 7.6x10 <sup>-7</sup>  | 9.5x10 <sup>-5</sup> | 1158.1                           |
| Ta          | 1673                     | 10             | 100            | 1.8x10 <sup>-6</sup> | 1.9x10 <sup>-5</sup> | 7.0x10 <sup>-7</sup>  | 9.6x10 <sup>-5</sup> | 1193.2                           |
| Mo          | 1873                     | 10             | 500            | 3.0x10 <sup>-5</sup> | 3.7x10 <sup>-4</sup> | 9.0x10 <sup>-6</sup>  | 2.1x10 <sup>-3</sup> | 1599.3                           |
| W           | 1893                     | 10             | 500            | 8.1x10 <sup>-5</sup> | 3.0x10 <sup>-4</sup> | 8.5 x10 <sup>-6</sup> | 2.2x10 <sup>-3</sup> | 1657.9                           |

*Примітка.* T<sub>випр</sub> – температура випробувань; τ<sub>1</sub>, τ<sub>2</sub> – тривалість початкового окислення та ресурсу роботи покриття; q<sub>1</sub>, q<sub>2</sub> – питома втрата маси покриття після окислення протягом 500 і 1000 год відповідно; q<sub>1min</sub>, q<sub>2max</sub> – після окислення протягом 500 год. при мінімальних і максимальних температурах випробувань; E<sub>a</sub> – енергія активації процесу окислення.

Таблиця 2

**Показники жаростійкості багат шарового покриття  
на тугоплавких металах**

| Основа   | τ <sub>2</sub> , год | q, г/см <sup>2</sup>   | T <sub>доп.</sub> , К | ΔT <sub>max</sub> , К |
|----------|----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Ніобій   | 5000                 | 4.0 ? 10 <sup>-3</sup> | 1785                  | 112                   |
| Тантал   | 5000                 | 8.0 ? 10 <sup>-4</sup> | 1794                  | 121                   |
| Молібден | 5000                 | 7.0 ? 10 <sup>-2</sup> | 1978                  | 105                   |
| Вольфрам | 5000                 | 9.5 ? 10 <sup>-3</sup> | 2020                  | 147                   |

*Примітка.* τ<sub>2</sub> – допустимий ресурс роботи покриття; q – втрата маси; T<sub>доп.</sub> – гранично допустима температура експлуатації; ΔT<sub>max</sub> – максимально допустиме перегрівання композиції.

Порівняння параметрів жаростійкості багат шарового та комбінованого силіцидного покриття [4] показало, що робоча температура виробів із багат шаровою композицією на 473–575 К вища. Крім цього, ресурс роботи багат шарового покриття становить 5000 год., що в 15 разів більше порівняно з комбінованими силіцидними покриттями.

Отже, для захисту виробів із ніобію, танталу, молібдену та вольфраму від окислення внаслідок високих температур рекомендуємо багат шарове покриття, що має високий ресурс роботи та мале сприйняття до перегрівання.

1. Перед нанесенням покриття молібден і вольфрам очищають від шкідливих домішок, а потім їх насичують ніобієм, а ніобій і тантал молібденують.

2. Далі вироби насичують послідовно бором і кремнієм із подальшим формуванням на боросиліційованій поверхні шлікерного силіцид-оксидного шару, котрий захищає металеву основу від окислення протягом 600–5000 год. у діапазоні температур 1573–1973К.

*The paper is devoted to the problem of refractory metals protection from high-temperature oxidation by means of applying coatings of various types. A diffusion-slurry composition has been shown to increase heat-proofness of refractory metals items.*

### Література

1. Тугоплавкие металлы и сплавы / Под ред. Г. С. Бурханова, Ю. В. Ефимова. – М.: Металлургия, 1986. – 352 с.
2. Ниобий и тантал // Зеликман А. В., Коршунов Б. Г., Елютин А. В., Захаров А. М. – М.: Металлургия, 1990. – 296 с.
3. Дзядыкевич Ю. В. Защитные покрытия на ниобии, тантале, молибдене и вольфраме для повышения стойкости к высокотемпературному окислению // Порошковая металлургия, 1992. – № 4. – С. 37–42.
4. Бялобжеский А. В., Цирлин М. С., Красилов Б. И. Высокотемпературная коррозия и защита сверхтугоплавких металлов. – М.: Атомиздат, 1977. – 224 с.
5. Заявка 60-194086 Япония. Молибденовые тигли с защитным покрытием / И. Тихару. – Оpubл. 02. 10. 1985.
6. Pat. 3489535 USA. Coatings for refractory metal base alloys / N. Bornstein, L. Friedrich, E. Hirakis. – Publ. 13. 01. 1970.
7. Пат. № 3666 Україна. Спосіб дифузійної металізації виробів із тугоплавких металів і їх сплавів / Ю. В. Дзядыкевич. – Бюл. № 12. Оpubл. 15. 12. 2004.
8. Борисенко А. И. Защита молибдена от высокотемпературной газовой коррозии. – М.-Л.: Наука. 1960. – 86 с.
9. Механизм защитного действия силицидных покрытий на молибдене / Е. В. Сивакова, А. С. Строев, Н. Ф. Лашко и др. // Высокотемпературные покрытия. – М.-Л.: Наука, 1967. – С. 116–120.
10. Цирлин М. С., Васильев А. Н., Бялобжеский А. В. Жаростойкость силицидного покрытия на сплаве Mo-47 % Re // Защита металлов. – 1979. – № 5. – С. 602–605.

11. Бялобжеский А. В., Красилов Б. И., Цирлин М. С. Модифицированные диффузионные силицидные покрытия для защиты молибдена от окисления // Защитные покрытия на металлах. – К.: Наук. думка, 1973. – Вып. 7. – С. 90–93.
12. Красилов Б. И., Бялобжеский А. В., Цирлин М. С. Формирование и высокотемпературное окисление покрытия типа Mo-Si-B // Защитные покрытия на металлах. – К.: Наук. думка, 1975. – Вып. 9. – С. 130–133.
13. Борисов В. Г., Щербаков Э. Д., Крумина Н. К. Диффузионные Si-Cr-Fe-покрытия на молибдене // Metallurgiya. – Минск: Наука и техника, 1976. – Вып. 8. – С. 53–55.
14. Терентьева В. С., Васильева Е. В., Учасье Ю. Э. Исследование закономерностей формирования и высокотемпературного окисления покрытия системы Si-Ti-Mo // Защитные покрытия на металлах. – К.: Наук. думка, 1977. – Вып. 11. – С. 41–45.
15. Schlichting J. Einfluß von Germanium auf das Oxidationsverhalten von Molybdendisilicid // Planseeber. Pulvermet. – 1979. – № 3. – S. 148–153.
16. Влияние добавок железа и бериллия на жаростойкость силицидных покрытий на молибденовом сплаве ЦВМ-30 / А. А. Зайцев, Н. М. Федорчук, Э. М. Лазарев, Н. А. Коротков // Изв. АН СРСР. Металлы. – 1985. – № 5. – С. 159–163.
17. Бялобжеский А. В., Цирлин М. С. Принципы защиты тугоплавких металлов от высокотемпературного окисления // Защитные покрытия. – Л.: Наука, 1979. – С. 3–8.
18. А. с. 611464 СССР. Способ защиты молибдена и его сплавов от окисления / М. С. Цирлин, М. К. Воротникова, А. В. Бялобжеский // Открытия. Изобретения. – 1978. – № 47. – С. 224.
19. Применение боридных покрытий в качестве диффузионных барьеров для тугоплавких металлов / А. Л. Бурыкина, Ю. В. Дзядыкевич, А. П. Эпик, Л. А. Сосновский // Неорганические и органосиликатные покрытия. – Л.: Наука, 1975. – С. 195–203.
20. Борисова А. Л. Совместимость тугоплавких соединений с металлами и графитом. – К.: Наукова думка, 1985. – 247 с.
21. А. с. 443118 СССР. Способ Химико-термической обработки молибдена и сплавов на его основе / Б. И. Красилов, А. В. Бялобжеский, М. С. Цирлин // Открытия. Изобретения. – 1974. – № 34. – С. 78.
22. Дзядыкевич Ю. В. Стабильность боросилицидных покрытий на тугоплавких металлах при высоких температурах // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. – 1976. – № 12. – С. 2172–2176.
23. Дзядыкевич Ю. В. Структурообразование при высокотемпературном окислении боросилицидного покрытия // Физика и химия обраб. материалов. – 1984. – № 5. – С. 61–64.
24. Цирлин М. С., Красовский А. И. Защита ниобия и молибдена от высокотемпературного окисления // Высокотемпературная защита материалов. – Л.: Наука, 1981. – С. 79–82.
25. А. с. 722367 СССР. Состав для боросилицирования молибдена и его сплавов / М. С. Цирлин, Л. И. Захарова // Открытия. Изобретения. – 1981. – № 10. – С. 296.
26. Цирлин М. С., Захарова Л. И., Касаткин А. В. Влияние состава насыщающей среды на кинетику роста и свойства диффузионного силицидного покрытия на молибдене // Антикоррозионные покрытия. – Л.: Наука, 1983. – С. 160–164.
27. Дзядыкевич Ю. В. Повышение жаростойкости тугоплавких металлов // Неорган. материалы. – 1994. – Т. 30. – № 11. – С. 1405–1408.
28. Пат. 14792А України. Спосіб ДЮГРОС рафінування тугоплавких металів і сплавів / Дзядыкевич Ю. В., Сміян О. Д., Горбатюк Р. М. Діє з 18. 02. 1997 р.
29. Дзядыкевич Ю. В., Кицкай Л. І. Захист ніобію і танталу від высокотемпературної газової корозії // Порошковая металлургия. – 1997. – № 1/2. – С. 85–93.
30. Щедров В. П., Гакман Э. Л. Жаростойкие материалы. – М.-Л.: Машиностроение, 1965. – 166 с.
31. Физико-химические свойства окислов: Справочник / Под ред. Г. В. Самсонова. – М.: Металлургия, 1978. – 472 с.

32. Лопато Л. М., Назаренко Л. В., Герасимюк Г. И., Шевченко А. В. Взаимодействие в системе  $ZrO_2-Y_2O_3-Al_2O_3$  // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. – 1990. – Т. 26. – № 4. – С. 831–838.
33. Шевченко А. В., Лопато Л. М., Герасимюк Г. И., Ткаченко В. Д. Система  $HfO_2-ZrO_2-Al_2O_3$  // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. – 1990. – Т. 26. – № 4. – С. 839–842.
34. ТУ 14-8-86-73. Изделия циркониевые (бадделеитовые) высшей огнеупорности, стабилизированные окисью иттрия. 1974.
35. Никитин В. И. Метод прогнозирования долговечности защитных покрытий // Физ.-хим. мех. материалов. – 1981. – № 3. – С. 95–99.

**Дудкіна О.**

## **СИСТЕМНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ РЕКРЕАЦІЙНИХ ЗОН ТА МЕХАНІЗМІВ ЇХ РЕГУЛЮВАННЯ**

*Обґрунтовано необхідність та особливості застосування системних засад, загальнонаукових і спеціальних методів дослідження функціонування рекреаційної сфери. Визначено систему міждисциплінарних підходів до вивчення механізмів регулювання розвитку рекреаційних зон регіону.*

Сучасний стан розвитку економіки, що характерний змінюваністю економічних процесів, зростанням соціальної напруги, посиленням техногенного й антропогенного впливу на довкілля, значною інтенсифікацією трудових та інтелектуальних затрат в умовах динамічного виробництва, об'єктивно передбачає посилення уваги всього суспільства до рекреації.

Рекреаційна діяльність як об'єкт наукового вивчення має певні особливості функціонування: своєрідну «піонерну роль» в освоєнні регіону, високу трудо-, капітало- та екологічність, комплексність (тісні взаємозв'язок і взаємозалежність із обслуговуючими і суміжними з рекреацією галузями), високу територіальну локалізованість, значний «мультиплікативний» вплив на економіку регіону, на оптимізацію структури регіональних господарських комплексів.

Окреслене дає змогу стверджувати, що дослідження рекреаційної сфери є найповнішим у контексті певних територіально-господарських систем – рекреаційних зон різних функціональних типів та ієрархічних рівнів. Останні розглядають як територіально-господарські утворення, що характерні тріадою взаємопов'язаних елементів: території (рекреаційних ресурсів природного й антропогенного походження); рекреантів, у т. ч. з виділенням місцевого населення (носіїв попиту на рекреаційні послуги); суб'єктів рекреаційного підприємництва та комплексу рекреаційної, виро-