УДК 1330.341 DOI:10.26661/2071-3789-2019-2-42-18

Малишев Віктор Володимирович [1,2], професор, доктор технічних наук
Шахнін Дмитро Борисович [1], доцент, кандидат хімічних наук
Зінченко Василь Володимирович [1], студент
Воденнікова Оксана Сергіївна [3], доцент, кандидат технічних наук
Сергієнко Тетяна Іванівна [3], доцент, кандидат політологічних наук
Воденнікова Лариса Володимирівна [4], асистент

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОГНОЗИ РОЗВИТКУ СВІТОВОГО РИНКУ НАНОПОРОШКІВ

[1] *Університет «Україна», м. Київ*
[2] *Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України, м. Київ*
[3] *Інженерний інститут Запорізькогой національного університету*
[4] *Запорізький державний медицинський університет*

Наведено загальні відомості про нанопорошки: типи, властивості, галузі застосування. Виконано аналіз світового ринку нанопорошків (головні тенденції ринку, його структура в різних країнах, характеристики виробництва та споживання, ціни).
Ключові слова: нанопорошки, ринок, его структура, виробництво, ціни

Постановка проблеми. Сукупний світовий обсяг споживання наноматеріалів перевищив показник у 15 млрд. дол. США. Галузь нанопорошків є найбільш розвиненим комерційним сектором ринку наноматеріалів; його щорічний приріст складає 15 %.

Досягнення під час розробки та виготовлення наноструктур значною мірою визначаються рівнем розвитку технологій, які дають змогу одержувати наноструктури необхідної конфігурації та розмірності. За багатьма прогнозами саме розвиток нанотехнологій визначить прогрес у XXI столітті, подібно до того, як у XX столітті його розвиток визначили відкриття атомної енергії, винахід лазера та транзистора [1-3].

На сьогодні ця галузь потужно розвивається за трьома напрямами: виготовлення електронних схем з активними елементами, розміри яких є порівняними з розмірами одиничних молекул або атомів; розробка та виготовлення наномашин, тобто механізмів та роботів молекулярних розмірів, а також виробництво нанопорошків [4-6].

Метою дослідження є всебічний аналіз світового ринку нанопорошків.

Нанопорошки: типи, властивості. На відміну від інших видів матеріалів (нанотрубок, фулеренів, нанопористих матеріалів), нанопорошки виготовляють з багатьох видів сировини. Одночасно такі матеріали можуть мати подібні з вихідною сировиною характеристики, а також особливі властивості, зумовлені їх розміром і будовою [7].

У табл. 1 подано відомості про найбільш поширені у світі нанопорошки оксидів металів та галузі їх використання.

У формі порошків випускають практично всі види твердих металевих елементів. Витрати у виробництві однорідних порошків металів із високим ступенем чистоти є значно вищими, ніж у виробництві оксидів металів. У табл. 2 наведено дані про застосування чистих металів у різних галузях.

Складні оксиди та суміші наночасточок становлять незначну частку виготовлених нанопорошків. На відміну від чистих металів та їх оксидів, складні нанопорошки мають обмежену сферу застосування. Існують такі види сумішей і складних оксидів [8]: сурм'яно-олов'яний оксид (Sb_2O_3-SnO_2), що застосовують в електроніці та оптиці; індіє-олов'яний оксид (In_2O_3-SnO_2), який використовують у виробництві дисплеїв у складі прозорих електропровідних покриттів; нітрид кремнію (Si_3N_4), що застосовують у виробництві турбін, деталей двигунів, машин, жароміцних і теплоізоляційних матеріалів; титанат барію ($BaTiO_3$), який використовують в електроніці для виробництва запам'ятальних пристроїв, електричних підсилювачів і сегнетоелектричної кераміки; наноалмази, що застосовують в обробній промисловості для нанесення покриття на полірувальні та ріжучі інструменти; вольфрамо-кобальтовий карбід (*WC-Co*) як додавання до металообробних і видобувних інструментів.

Розподіл сфер впливу в галузі нанотехнологій, за оцінкою «*US Nano Business Alliance*», вже відбувається і завершиться до 2020 р. Прогнозована структура світового ринку одночасно буде мати вигляд, %: США – 30,

© Малишев В.В., Шахнін Д.Б., Зінченко В.В., Воденнікова О.С., Сергієнко Т.І., Воденнікова Л.В., 2019

Японія – 25, Європа – 20, Азія – 14, інші країни – 11. Найбільшим комерційним сектором у 2015 р. було виробництво наноматеріалів (126 млрд. дол.). Лідером у цьому секторі є виготовлення нанокомпозитів. На другій позиції знаходиться електроніка (45 млрд. дол.), майже 19 млрд. дол. припадає на сферу охорони здоров'я.

Таблиця 1 – Нанопорошки оксидів металів та галузі їх використання

Сполука	Галузь використання
Оксид кремнію	Електроніка; оптика; обробна промисловість; як пластичний наповнювач; покриття
Оксид титану	Обробна промисловість; оптика; захист навколишнього середовища; утилізація боєголовок хімічних ракет
Оксид алюмінію	Обробна промисловість; електроніка; очищення повітря; виробництво конструкційної кераміки
Оксид заліза	Виробництво скла та кераміки, каталізаторів хімічних реакцій, магнітів і запам'ятальних пристроїв, очищення води
Оксид цинку	Виробництво полімерів; водневих паливних елементів; сонячних батарей
Оксид церію	Виробництво водневих паливних елементів; скла; оптика
Оксид цирконію	Виробництво кераміки; водневих паливних елементів
Оксид ітрію	Вогнетривка кераміка; виробництво люмінесцентних ламп; водневих паливних елементів; дисплеї та монітори
Оксид міді	Електроніка; оптика
Оксид магнію	Виробництво покриття; полімерів; сплавів; металів; електроніка; оптика
Оксид неодиму	Електроніка; оптика; виробництво скла
Оксид європію	Електроніка; оптика; виробництво графітових стрижнів ядерних реакторів
Оксид диспрозію	Електроніка; оптика; виробництво магнітів і запам'ятальних пристроїв; галогенних ламп

Огляд світового ринку нанотехнологій. Досягнення нанотехнологій сьогодні використовують різні галузі промисловості [9]. Так, згідно з оцінками компанії «*Lux Research*», у 2012 р. обсяг ринку нанотехнологій складав 190,3 млрд. дол. США. На одержану з використанням нанотехнологій продукцію припадає близько 0,05 % світового валового сукупного продукту, очікують зростання її до 1,5 % у 2020 р.

Таблиця 2 – Застосування нанопорошків металів у різних галузях

Метал	Галузь застосування
Нікель	Дешевший замінник платини; виробництво водневих паливних елементів; покриття; електроніка; оптика
Мідь	Біологія; електроніка; оптика
Залізо	Очищення води; виробництво покриттів, запам'ятальних пристроїв і магнітів; оптика
Алюміній	Дешевший замінник титану; каталізатори; біологія
Титан	Біологія; додавання для стабільності за дії ультрафіолетових-променів; виробництво покриття
Кобальт	Виробництво скла, кераміки; оптика
Цинк	Біологія; виробництво полімерів; водневих паливних елементів; сонячних батарей
Вольфрам	Виробництво покриття; полімерів
Молібден	Каталізатори; виробництво покриття; полімерів; інгібіторів
Срібло	Покриття; повітряні фільтри
Золото	Електроніка; каталізатори
Платина	Електроніка; виробництво водневих паливних елементів, скловолокна; автомобілебудування; нафтогазова галузь
Кремній	Електроніка; металургія; виробництво цементу; абразивів

Попит на нанопродукти, згідно з оцінками «*Lux Research*», буде розподілено до 2020 р. між напрямками наноринку, як показано на рис. 1. Видно, що найбільшим попитом будуть користуватися наноматеріали та продукція наноелектроніки.

За підсумками 2015 р. було вироблено продукції, яка включає розробки в галузі нанотехнологій, на суму понад 1,4 трлн. дол. Обсяг світових інвестицій у нанотехнології у 2015 р. склав 18,1 млрд. дол., тобто зафіксовано його зростання, порівняно з 2013 р., на 18 %.

Корпоративні інвестиції (8,6 млрд. дол.) стали головним джерелом фінансування (державні – лише 8,3 млрд. дол.).

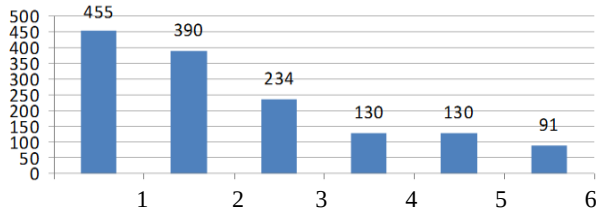

Рисунок 1 – Потенційний попит на нанопродукти у 2020 р. (млрд. дол.)
1 - матеріали; 2 - електроніка; 3 - фармацевтика; 4 - каталізатори; 5 - екологія; 6 - транспорт

Лідерами за обсягом державних інвестицій є США та ЄС. За оцінками експертів, у перспективі до 2020 р. лідерство за обсягом вкладених інвестицій може перейти до Японії. Сьогодні лідером ринку наноматеріалів є США з прогнозованим рівнем доходів на 2018 р. у розмірі 1,46 млрд. дол. На другій позиції – Західна Європа. Найшвидше зростаючим і перспективним сегментом є Азіатсько-Тихоокеанський регіон.

У цілому, слід зазначити, що сьогоднішній обсяг виробництва наноматеріалів не відповідає потребам ринку. Прогнозовані обсяги зростання кожної із складової сфер пов'язані з підвищенням доступності наноматеріалів для кінцевого споживача.

Перспектива ринку нанотехнологій виглядає оптимістично. Одночасно, експерти по-різному оцінюють його ємність і динаміку зростання. Прогнозований обсяг ринку нанотехнологій у світі наведено у табл. 3.

Таблиця 3 – Прогнозований обсяг ринку нанотехнологій, трлн. дол.

Експертна організація	Прогнозований обсяг ринку, трлн. дол.
«*Mitsubishi Institute*» (прогноз на 2018 р.)	0,19
«*Iunkett Research*» (прогноз на 2017-2020 рр.)	1,30
«*Lux Research*» (прогноз на 2018 р.)	3,40
«*US Nano Business Alliance*» (на 2020 р.)	1,30
«*EuroCommittee*» (прогноз на 2020 р.)	2,00

Видно, що прогноз обсягу глобального наноринку відрізняється. По-перше, не вивчено ризики, пов'язані з виробництвом нанопродукції, по-друге, оцінка перспектив ринку ґрунтується на положенні про можливий «прорив» у деяких галузях, наприклад, винаходи нанокомп'ютерів, нанороботів, а також вдосконалення та збільшення обсягів випуску нанотрубок [10].

Стан і тенденції розвитку світового ринку нанопорошків. Незважаючи на значний асортимент порошків, які є доступними, лише деякі з них виготовляють у промислових масштабах [8,10,11]. Обсяг світового ринку нанопорошків, які використовують в енергетиці, як каталізатори у виробництві конструкційних матеріалів, у 2016 р. склав 474,4 млн. дол. За середнім щорічним темпом зростання (CAGR), що складає 38,7 %, до 2020 р. обсяг ринку буде на рівні 1,7 млрд. дол. На ринку виділяють три головні сфери застосування нанопорошків: використання в електричних приладах, як каталізаторів і в конструкційних матеріалах (табл. 4).

Таблиця 4 – Структура ринку нанопорошків за напрямками використання

Застосування	2012 рік		2017 рік		
	млн. дол.	% від загального обсягу	млн. дол.	% від загального обсягу	CAGR 2013 - 2017, %
Каталізатори	260,1	55,0	464,5	26,6	12,2
Енергетика	76,4	16,1	785,5	45,0	59,4
Конструкційні матеріали	137,2	28,9	496,6	28,4	29,4
Всього	473,7	100,0	1746,6	100,0	29,8

Структура ринку нанопорошків за типами наноматеріалів у різних країнах. Світове виробництво нанопорошків розподілено нерівномірно. Так, головні виробничі потужності розташовано у розвинених країнах, проте такі країни, як Бразилія, Південна Африка, що мають значний сировинний потенціал, нанопорошки не виробляють у значних обсягах. Понад дві третини

світового випуску нанопорошків приходиться на США, де розташовано майже половина всіх виробників, які забезпечують продукцією споживачів Європі, меншою мірою – Азії.

Разом з тим, багато американських виробників є невеликими інноваційними компаніями або науково-дослідними інститутами, де синтезують нанопорошки для внутрішніх потреб. В Азії, навпаки, незначна кількість учасників ринку має великі обсяги виробництва. Азіатський регіон має величезні запаси рідкісноземельних металів, таких як ітрій та цирконій..

В Європі наноіндустрію найбільш розвинено у Німеччині та Великобританії. Головною проблемою Європи в недалекому майбутньому може стати дефіцит сировини через обмежені поклади рідкісноземельних металів.

Головним видом продукції на світовому ринку нанопорошків є порошки оксидів металів. У товарній групі оксидів металів 80 % обсягу виробництва припадає на три найпоширеніші види сировини: кремнезем (SiO_2), діооксид титану (TiO_2) і глинозем (Al_2O_3). Одночасно, кремнезем займає більше половини всього виробництва, глинозем – 18 % і діооксид титану – 10 %. Найдоступнішими оксидами є оксиди заліза, цинку, церію, цирконію, міді, магнію й ітрію.

На ринку нанопорошків чистих металів 16,5 % обсягу виробництва припадає на порошки нікелю та міді. Світовий обсяг виробництва порошків чистих металів має такий вигляд, %: *Cu* – 16, *Ni* – 16, *Fe* – 14, *Al* – 13, *Ti* – 13, *Zn* – 10, *Co* – 8, *Mo* – 5, *W* – 5.

Серед складних оксидів і сумішей найбільше виробляють сурм'яно-олов'яний оксид, титанат барію, карбід кобальту, нітрид кремнію та індіє-олов'яний оксид.

Щодо структури виробництва нанопорошків у регіонах, то в Європі виробляють більше порошків оксидів металів (90 %), а в Азії – порошків чистих металів (до 35 %).

П'ять провідних виробників Північної Америки виготовляють понад 20 видів нанопорошків, у той час, як у Європі та Азії асортимент рідко перевищує 10 найменувань. Значну частину порошків виробляють в обмеженій кількості через замовлення для дослідницьких цілей.

Ціновий аналіз. Ринок нанопорошків [9,13] є складним для цінового аналізу, через те, що виробники, зазвичай, співпрацюють з певними галузями промисловості та виготовляють нанопорошки з різними характеристиками. Також велике значення має показник обсягу партії.

Вартість нанопорошку під час укладання кожного контракту визначається індивідуально. Орієнтовну вартість деяких найпоширеніших нанопорошків подано на рис. 2.

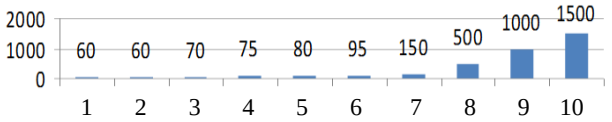

Рисунок 2 – Середня вартість нанопорошків, дол./кг
1 - кремнезем; 2 - оксид заліза; 3 - оксид титану; 4 - оксид цинку; 5 - оксид барію; 6 - глинозем; 7 - оксид церію; 8 - оксид цирконію; 9 - оксид срібла; 10 - індієолов'яний оксид

Так, висока вартість нанопорошків оксидів цирконію та срібла, а також індіє-олов'яного оксиду, визначається вартістю вихідної сировини і малим обсягом виробництва. Вартість для виробників відрізняється на 25-30 % і залежить також від транспортних витрат щодо доставки їх споживачеві.

Особливості споживання нанопорошків. Нанопорошки не завжди є кінцевою продукцією, їх використовують у різних виробничих процесах.

Сьогодні нанопорошки регулярно вико ристовують у двох ключових галузях: в електроніці (в основному, кремнезем) та в обробній промисловості. У інших галузях попит на нанопорошки існує у формі одноразових замовлень.

Структура споживання нанопорошків за галузями на світовому рівні має такий вигляд, %: електроніка та оптика – 43, обробна промисловість – 28, енергетика та охорона довкілля – 9, металургія – 5, аерокосмічна промисловість – 4, інші галузі – 11. Видно, що попит на нанопорошки формує, в основному, електроніка та обробна промисловість. Способи використання нанопорошків у цих галузях практично однакові, наприклад, їх застосовують як абразив.

Висновки.

1. Встановлено, що найбільш розвиненими світовими ринками нанопорошків є США, Європа та Азіатсько-Тихоокеанський регіон.

2. Специфікою світового ринку нановорошків є те, що в Європі виробляють більше 90 % порошків оксидів металів, в Азії – до 35 % порошків чистих металів, асортимент американських виробників, як правило, перевищує аналогічний в європейських та азіатських країнах.

3. Ціновий аналіз світового ринку нановорошків дає змогу встановити:

– у виробництві наноматеріалів роль, що лідирує, виконують хімічна галузь та

ефектроніка;

– високу вартість продукції, низький обсяг виробництва та доступність для кінцевого споживача;

– зростання темпів виробництва трьох найбільших складових ринку наноматеріалів – енергетики, виробництва каталізаторів, конструкційних матеріалів – протягом 2015–2020 рр. на 60 %, 13 % і 30 % відповідно;

– найпоширенішими видами сировини є кремнезем SiO_2 (більше половини всього виробництва), глинозем (Al_2O_3) – 18 % і діооксид титану (TiO_2) – 10 %.

– наявність більше 30 % у виробництві чистих металів порошків нікелю та міді; до лідерів за цим показником відносять залізо, алюміній і титан (13–14 %);

– більше половини всіх нанорошків має розмір частинок менше 60 нм, а більше, ніж 40 % – менше 30 нм;

– попит на нанопорошки формують, в основному, електроніка та обробна промисловість.

Бібліографічний перелік

1. **Старостин В. В.** Материалы и методы нанотехнологий. Москва : «Бином. Лаборатория знаний», 2008. 431 с.
2. **Головин Ю. И.** Введение в нанотехнологию. Москва : Машиностроение, 2003. 112 с.
3. **Третьяков Ю. Д.**, Гудилин Е. А. Основные направления фундаментальных и ориентированных исследований в области наноматериалов. *Успехи химии*. 2009. Т. 78, № 9. С. 867-889.
4. **Фейнман Р.** Внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики. *Химия и жизнь*. 2002. № 12. С. 20-26.
5. **Бучаченко А. Л.** Нанохимия – прямой путь к высоким технологиям нового века. *Успехи химии*. 2003. Т. 72, № 5. С. 419-437.
6. **Таланчук П.**, **Малишев В.** Становлення й розвиток нанотехнологій у світі і в Україні: використання інтелектуального капіталу, тенденції розвитку. *Газета* «*Університет* «*Україна*». 2009. № 10-11. С. 3-5.
7. **Балоян Б. М.**, Колмаков А. Г., Алымов М. И., Кротов А. М. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения. Москва : Машиностроение, 2007. 124 с.
8. **Малишев В. В.**, Кущевська Н. Ф., Заблоцька О. І., Гладка Т. М. Стандартизація в галузі нанотехнологій та наноматеріалів: напрямки розвитку, характеристика стандартів, термінологія, *Строительные материалы и изделия*. 2013. № 3. С. 6-10.
9. **Коротєєва А. В.**, Кущевська Н. Ф., Малишев В. В. Дослідження ринку нанопорошків. *Маркетинг в Україні.* 2015. № 5 (92). С. 29-33.
10. **Романенко Л.**, Малишев В., Романенко О., Сущенко А. Бізнес у нанотехнологіях. *Освіта регіону. Політологія, психологія, комунікації*. 2011. № 1. С. 242-252.
11. **Павлыго Т. М.**, Сердюк Г. Г., Шевченко В. И. Стандартизация в области нанотехнологий и наноматериалов. *Наноструктурное материаловедение*. 2010. № 3. С. 70-80.
12. **Андрощук Г. О.**, Ямчук А. В., Березняк Н. В. Нанотехнології у XXI столітті : стратегічні пріоритети та ринкові підходи до впровадження; монографія. Київ : УкрІНТЕІ, 2011. 275 с.
13. **Фостер Я. Ю.** Мир материалов и технологий. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. Москва : Техносфера. 2008. 352 с.

Малышев Виктор Владимирович, доктор технических наук, профессор, директор инженерно-технологического института, университет «Украина», (Украина, Киев). E-mail: victor.malyshev.igic@gmail.com

Шахнин Дмитрий Борисович, кандидат химических наук, доцент, кафедра современной инженерии и нанотехнологий, университет «Украина». (Украина, Киев). E-mail: shakhnin@ukr.net

Зинченко Василий Владимирович, студент. кафедра современной инженерии и нанотехнологий, университет «Украина». (Украина. Киев). E-mail: office@vmirol.com.ua

Воденникова Оксана Сергеевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра металлургии, инженерный институт Запорожского национального университета (Украина, Запорожье). E-mail: oksana_vodennikova@ukr.net

Сергиенко Татьяна Ивановна, кандидат политологических наук, доцент, кафедра менеджмента, инженерный институт Запорожского национального университета (Украина, Запорожье). E-mail; sergienko 7921@gmail.com

Воденникова Лариса Владимировна, ассистент, кафедра естественных дисциплин для иностранных студентов токсикологической химии. Запорожский государственный медицинский университет (Украина, Запорожье). E-mail: larisa.vodennikova@gmail.com

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗЫ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО РИНКА НАНОПОРОШКОВ

Представлены общие сведения о нанопорошках: типы, свойства, области применения. Выполнен анализ мирового рынка поропорошков (основные тенденции ринка, его структура в разных странах,

характеристика производства и потребления, цены).
Ключевые слова: нанопорошки, рынок, его структура, производство, цены

Malyshev Victor, Doctor of Technical Sciences, Director of Engineer-Technological Institute, university «Ukraine», (Ukraine, Kyiv). E-mail: victor.malyshev.igic@gmail.com
Shakhnin Dmitry, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of the Modern Engineering and Nanotechnologies, University «Ukraine», (Ukraine, Kyiv). E-mail: shakhnin@ukr.net
Zinchenko Vasiliy, Student, of Department of the Modern Engineering and Nanotechnologies, University «Ukraine», (Ukraine, Kyiv). E-mail: office@vmirol.com.ua
Vodennikova Oksana, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Metallurgy, Engineering Institute of the Zaporizhzhia National University (Ukraine, Zaporizhzhia). E-mail: oksana_vodennikova@ukr.net
Sergienko Tatiana, Candidate of Politological Sciences, Associate Professor, Management Department. Engineering Institute of the Zaporizhzhia National University (Ukraine, Zaporizhzhia)
Vodennikova Larisa, Assistant of Department of Natural Disciplines for Foreign Students, Zaporizhzhia State Medical University (Ukraine, Zaporizhzhia). E-mail: larisa.vodennikova@gmail.com

MODERN STATE AND PROGNOSES OF DEVELOPMENT OF WORLD MARKET OF NANOPOWDERS

The analysis of quality of heating is executed for heat treatment of steel blanks at existent technology of heating of two-cell thermal furnaces mixture natural and domain gases. There is offered rational technology of their heating with combining of the mentioned fuel constituents, realization of which will allow to increase the volume expense of products of combustion during all cycle of heat treatment, and, consequently, to reduce the unevenness of heating of steel blanks. The wide turn-down of thermal power of furnaces during realization of the multi-stage temperature-sentinel modes of heat treatment of metal predetermines requirements to incineration of gaseous fuel for her different periods. During experimental researches studied distribution of temperature on length of working chamber, and also warming under heat treatment of purveyances from steel by the 4Х5МФ1С section of 370 х а 370 mm and by general mass 26,7 т. Distribution of temperature in steel purveyances was controlled by the use flexible hromel- alumel thermels, set on the surface of metal charge on long purveyances; control of temperature in the swept volume of furnace was executed by the stationary set temperature-sensitive element. The results of the executed researches allowed to draw conclusion about the necessity of stabilizing of the gas-dynamic mode of thermal furnace by the increase of by volume expense of foods of burning through the change of technology of her heating. The task of translation of furnaces of this type on heating with separate admission natural and domain gases, and also their subsequent combining immediately in front of gas-rings are examined. At that rate a management thermal power of thermal furnace is carried out by the simultaneous operating both on the regulators of expense of separate components of fuel for providing of the set temperature in her swept volume and on the regulator of volume of foods of burning in periods of self-control and cooling of metal. On a thermal furnace it is set the results of subsequent experiments, that during translation of her on separate admission natural and domain gases the overfall of temperature in the horizontal section of the swept volume of furnace goes down to 15-20 °C, and after length gardens of steel purveyances - to 25-30 °C. The complex of experimentally-calculation researches of thermal work of two-cell thermal heater is executed during translation of her on a separate serve natural and domain gases, and also surplus air. Advantages of the offered method of heating of furnace of this type are shown.
Key words: nanopowders, market, its structure, production, prices

Стаття надійшла до редакції 01.04.2019 р.
Рецензент, проф. О. П. Крупа