

# ОБМЕН ИНФОРМАЦИЕЙ

---

УДК 006.1:006.74

**Т.М. Павлиго, Г.Г. Сердюк**

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України  
м. Київ, вул. Кржижановського, 3, Україна, 03142

## КЛАСИФІКАЦІЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ У СИСТЕМІ МІЖНАРОДНОЇ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

---

**Ключові слова:** нанотехнології, наноматеріали, класифікація, термінологія

*Розглянуто приклади сучасних методів класифікації у галузі наноматеріалів. Найбільш інформативною є методологія класифікації, наведена в ISO/TR 11360:2010. Цю методологію побудовано за типом «нанодерево».*

На рубежі XX і XXI століть нанотехнології почали активно розвиватися та широко застосовуватися в усіх сферах діяльності людини від виробництва продукції для військово-промислового комплексу до виготовлення товарів повсякденного вжитку й харчових продуктів. За таких обставин набуло актуальності питання про стандартизацію в цій галузі науки й техніки. Створені в США, країнах Європейського Союзу, Китаї, Росії технічні комітети та спеціалізовані організації вже розробили цілу низку стандартів щодо термінології, властивостей і метрології деяких наноматеріалів. Однак аналіз чинних стандартів засвідчив, що для усунення розходжень, які існують у національних системах стандартизації стосовно певних моментів, для підвищення якості нормативних документів доконечне потрібна координація дій зацікавлених країн, особливо з огляду на те, що більшість із них є членами Світової організації торгівлі та беруть безпосередню участь у становленні світової економіки. У зв'язку з цим 2005 року в Міжнародній організації стандартизації (ISO) було створено технічний комітет ISO/TC 229 «Нанотехнології», який узяв на себе роль координатора.

Роботу ISO/TC 229 було розпочато з розроблення нормативних документів щодо термінології та класифікації наноматеріалів, оскільки, як відомо, саме загальна термінологія та класифікація як процес групування об'єктів дослідження або спостереження відповідно до їхніх загальних ознак є вельми важливими для спілкування вчених, що провадять дослідження у споріднених галузях науки.

© Т.М. ПАВЛИГО, Г.Г. СЕРДЮК, 2010

Стосовно термінології ISO опублікувала три стандарти із серії ISO/TS 80004 під загальною назвою «Нанотехнології – словник» [1–3], які було розроблено згідно з планом технічного комітету ISO/TC 229. У роботі [4] наведено та обговорено терміни «наношкала», «нанооб’єкт», «наночастинка», «нанопластинка», «нановолокно», «нанодріт», «нанотрубка», «нанострижень», «квантова точка» та їхні визначення, які ввійшли до стандарту ISO/TS 27687:2008 [3]. Стандартом [1] запроваджено базові терміни у сфері нанотехнологій і наноматеріалів. Наведемо деякі з них у табл. 1.

Усі зазначені терміни активно використовуються у спеціальній технічній доповіді ISO/TR 11360:2010 [5], в якій запропоновано методологію класифікації наноматеріалів та якій присвячено цю статтю.

### Опис системи класифікації

У вступній частині доповіді ISO/TR 11360:2010 спеціально підкреслено, що вона ґрунтується на ілюстративному підході до проблеми й не претендує на вичерпний перелік можливих способів класифікації наноматеріалів. Це не виключає в майбутньому можливості використання інших методів класифікації. Таким чином, наведений документ призначено для ознайомлення та обговорення фахівцями перед остаточ-

ним розробленням і затвердженням відповідного стандарту.

У згаданому вище документі сформульовано такі завдання:

- розробити базисну систему класифікації для різних типів наноматеріалів;
- зазначити необхідні нормативні методи встановлення характеристик наноматеріалів;
- полегшити ідентифікацію важливих характеристик/властивостей певного наноматеріалу через наукові журнали та патенти;
- полегшити розроблення «номенклатурного кістяка», потрібного для формування логічної й системної термінології наноматеріалів.

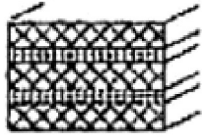
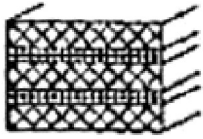
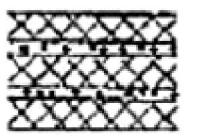
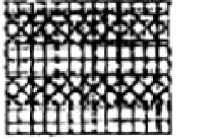


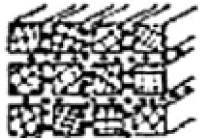
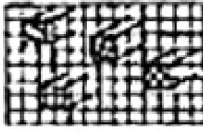
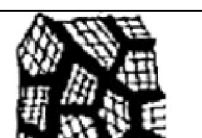
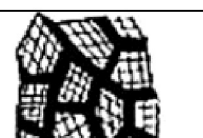
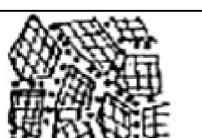
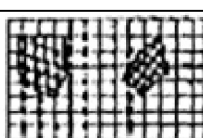
Доповідь базується на численних друкованих матеріалах стосовно цих питань. Справді, практично кожна монографія чи навчальний посібник у сфері наноматеріалів містять спроби класифікації їх. Однак здебільшого ці спроби, що становлять безсумнівний інтерес, обмежуються одним або двома критеріями. Однією з найпоширеніших класифікацій для основних типів структур неполімерних наноматеріалів є відома класифікація Г. Глейтера (табл. 2, [6]).

За хімічним складом і розподілом фаз виділяють чотири типи структури: однофазну, статистичну багатофазну з ідентичними та неідентичними межами розподілу й матричну багатофазну. Також виділяють три типи структури за формою: пластинчасту, стовбчасту й рівновіс-

Таблиця 1. Базові терміни у сфері нанотехнологій і наноматеріалів [1]

Терміни	Визначення
Нанотехнологія	Застосування наукового знання для впливу на речовину з розмірами у наношкалі та її контролю, щоб, на відміну від окремих атомів і молекул чи масивних матеріалів, використовувати розмірно - й структурно-залежні властивості та явища
Наноматеріал	Матеріал із принаймні одним зовнішнім розміром у наношкалі або матеріал, який має внутрішню чи поверхневу нанорозмірну структуру
Наноструктура	Структурна композиція із взаємозалежних складових частин, у якій хоча б одна є нанорозмірною областю
Наноструктурний матеріал	Матеріал, що має внутрішню або поверхневу наноструктуру
Промисловий наноматеріал	Наноматеріал із заданими властивостями та складом, спеціально вироблений із комерційною метою
Промислове нановиробництво	Цілеспрямований синтез, формування й контроль наноматеріалів, а також етапи виготовлення виробів із нанорозмірними елементами з комерційною метою
Нановластивість	Характеристика нанооб’єкта або нанорозмірної області

Таблиця 2. Класифікація консолідованих наноматеріалів

Хімічний склад Форма	Склад та розподіл			
	Однофазний	Багатофазний		
		Статистичний		Матричний
		Ідентичні межі	Неідентичні межі	
Пластинаста				
Стовбчаста				
Рівновісна				

ну (структуру, що має рівновісні включення). Тут ураховуються також можливості сегрегації на міжкристалітних межах.

Автори роботи [6] запропонували двобазисну класифікацію нанорозмірних структур (НРС) (рис. 1). Один напрям класифікації (за нанобазисом) відображає відмінність походження на-

ноструктур, інший (за топологією) ділить наноструктури за неперервністю. Докладніше ці напрями показано в табл. 3.

У технічній доповіді ISO/TR 11360:2010 для класифікації обрано систему «класифікаційне дерево», яка найчастіше використовується в науці й техніці. У цьому окремому випадку ав-

Таблиця 3. Класифікація наноструктур за нанобазисом

«Класичні» твердотільні НРС	Синтетичні НРС	Нанорозмірні біоструктури
Наночастинки Нанотрубки Металеві, напівпровідникові, діелектричні тонкі плівки Квазіодновимірні провідники Квазінульвимірні металеві, напівпровідникові, діелектричні об'єкти Нанокристали тощо	Нанополімери Синтетичні нановолокна Синтетичні тонкі плівки Наноколоїди Нанокристали (каучук, кевлар, тефлон і т. ін.)	Біомолекулярні комплекси Модифіковані віруси Органічні наноструктури

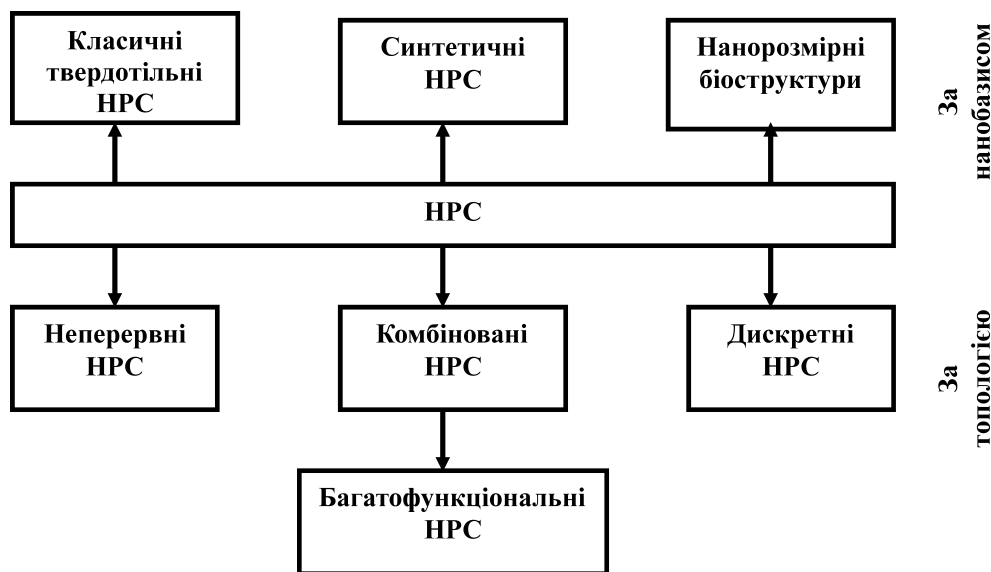


Рис. 1. Схема класифікації нанорозмірних структур

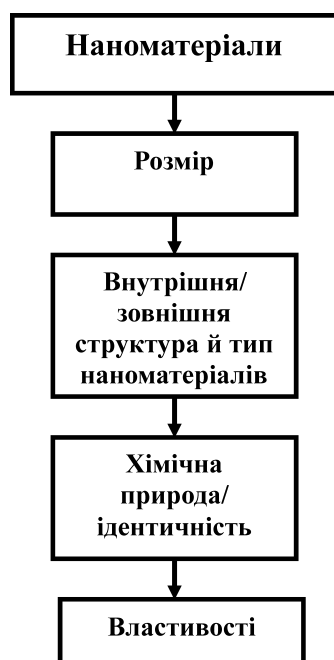


Рис. 2. Спрощена схема будови нанодерева

тори доповіді дали їй назву «нанодерево». Здійснені за такою системою класифікація (систематизація) та створення узагальнювальних понять (категорій) забезпечують логічну ієрар-

хію між різними секторами номінальних показників розглянутого продукту. У результаті класифікації наноматеріалів можна чекати такого розміщення наявних у нанотехнології понять за відповідними категоріями, яке, по-перше, ідентифікувало б ці поняття й, по-друге, виразно показало б співвідношення між ними.

Будь-який процес класифікації починається з вибору базових критеріїв. З огляду на беззаперечну роль розміру для формування різних властивостей наноматеріалів він є першою з-поміж чотирьох основних гілок нанодерева (рис. 2). Класифікація у другій гілці здійснюється за будовою (внутрішньою та зовнішньою структурою) наноматеріалів. Третя гілка бере до уваги хімічну природу наноматеріалів, що є важливим кроком на шляху ідентифікації їх. Завершує нанодерево гілка властивостей наноматеріалів.

Окремі фрагменти, що ілюструють результати класифікації, яку подано в доповіді, нами задля наочності об'єднано в одну схему, наведену на рис. 3.

Як видно з рис. 3, у гілці з критерієм «розмір» наноматеріали розбито на три категорії: з розмірністю 1D (тільки один розмір об'єкта відповідає нанощкалі), 2D та 3D (відповідно два й три розміри за нанощкалою). На наступному етапі

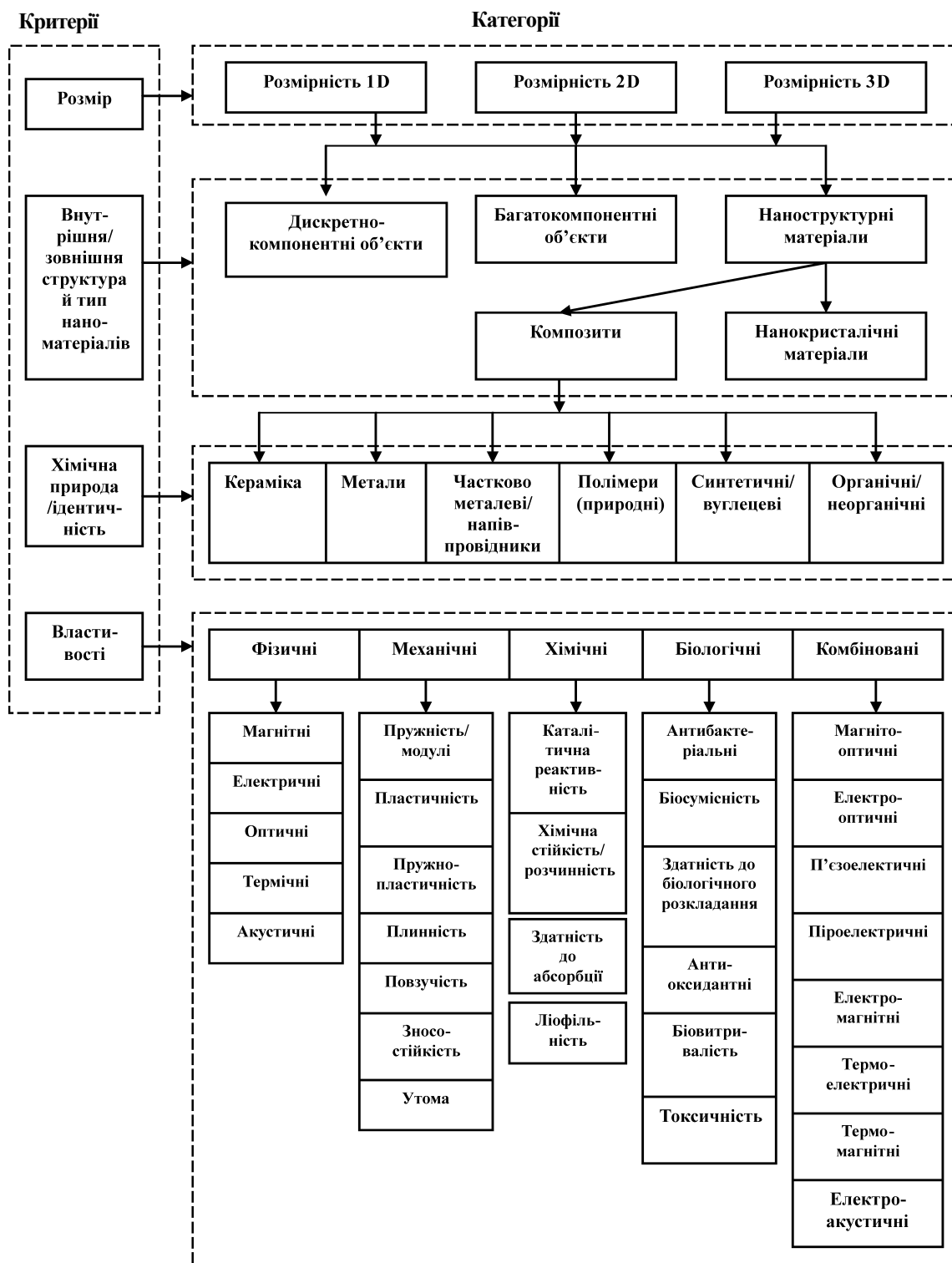


Рис. 3. Критерії та категорії наноматеріалів

Таблиця 4. Належність нанооб’єктів і наноструктурних матеріалів до відповідних категорій

Категорії будови / Розмірні категорії	Дискретно-компонентні нанооб’єкти	Багатокомпонентні нанооб’єкти	Наноструктурні матеріали
Розмірність 1D	Наношари й наноплівки, нанопластинки	Наношари й наноплівки, нанопластинки	Нанокompозити (наприклад наноглинисті композити)
Розмірність 2D	Нановолокна, нанотрубки, нанострижні, нанодріт	Нановолокна, нанотрубки, нанострижні, нанодріт	Нанокompозити (наприклад композитні нанотрубки)
Розмірність 3D	Наночастинки, нанокапсули, квантові точки, дендримери, фулерени, алмазоїди, наноіони	Наночастинки, капсульовані наночастинки	Масивні нанопористі матеріали, масивні нанокристалічні матеріали, масивні нанокompозити

класифікації за критерій узято внутрішню та зовнішню будову наноматеріалів. За цими ознаками наноматеріали поділено на об’єкти й наноструктурні матеріали. Усі вони можуть мати розміри з будь-якої категорії. Об’єкти й наноструктурні матеріали, які чітко належать до відповідних розмірних та структурних категорій (табл. 4), загалом кажучи, утворюють окрему гілку нанодерева.

Дискретно-компонентні об’єкти являють собою матеріальні тіла, що існують самостійно. Багатокомпонентні нанооб’єкти складено з окремих, іноді навіть не пов’язаних між собою однакових елементів або з поєднаних елементів, які відрізняються один від одного. Наноструктурним є матеріал, який містить структурні нанорозмірні елементи. До наноструктурних ма-

теріалів, відповідно до роботи [7], належать прості випадкові композиції нанооб’єктів, такі як агрегати й агломерати, або впорядковані композиції, такі як кристали фулеренів чи вуглецеві нанотрубки, а також нанокompозити з нанооб’єктами у вигляді включень у твердій матриці. Стандарт ISO/TS 80004-1:2010 пропонує схему поділу наноматеріалів на нанооб’єкти й наноструктурні матеріали, яку наведено на рис. 4.

Третю гілку класифікації визначають за критерієм «хімічна природа/ідентичність» наноматеріалів. Варто звернути увагу на те, що до цієї гілки належать не нанооб’єкти, а тільки нанокompозити. Останні за цією ознакою поділено на металеві, керамічні, полімери (синтетичні або природні), сполуки на основі металів (напівпровідники), вуглецеві та органічні/неорганічні.

Таким чином, наведені три гілки класифікації переконливо свідчать про те, що, на відміну від традиційних матеріалів, на властивості яких впливають два чинники – структурна й хімічна природа або тип сполуки, на загальні властивості наноструктурних матеріалів діє ще й третій – розмірний чинник і в більшості випадків він є визначальним.

Четверта гілка нанодерева класифікує нанокompозити за властивостями – фізичними, ме-



Рис. 4. Схема розподілу наноматеріалів

Таблиця 5. Приклад створення категорій властивостей наноматеріалів

Фізичні властивості					
Магнітні	Електричні		Оптичні	Термічні	Акустичні
	Діелектричні	Провідність/ надпровідність			
Проникність	Втрати	Мобільність електронів	Індекс рефракції	Теплопровідність	Коефіцієнт акустичного згасання
Сприйнятливість	Діелектрична провідність	Мобільність електронних вакансій	Коефіцієнт прозорості	Коефіцієнт температуропровідності	Акустичні втрати
Намагніченість	Опір	Рівень Фермі	Абсорбційна здатність	Термічна деградація	Акустичний питомий опір
Стала магнітострикційної насиченості	Поляризація	Температура критичного переходу	Емісійна здатність	Коефіцієнт теплового розширення	Коефіцієнт акустичної абсорбції
Точка Кюрі	Сприйнятливість	Критичне магнітне поле	Відбивальна здатність	Теплове лінійне розширення	Швидкість звуку
Петля гістерезису	Релаксація	Максимальна густина струму	Освітленість	Тепловий удар	
Точка Нееля	Дисипація	Несуча довгочасність		Теплоємність	
Блокувальний розмір		Коефіцієнт Голла		Теплота розкладу	
Обмінне зміщення		Інтервал енергетичної смуги		Теплота випаровування	
Магнітна опірність		Ефект супермагніто-резистивності		Теплота синтезу	
Ширина лінії спінової хвилі				Теплота утворення	
Коерцитивність				Теплота плавлення	
				Теплота змішування	
				Теплота нейтралізації	
				Теплота полімеризації	
				Теплота реакції	
				Теплота розчинення	
				Теплота сублимації	
				Теплота перетворення	

ханічними, хімічними, біологічними та комбінованими. Ці категорії поділяють на підкатегорії – типи показників властивостей. Як приклад у табл. 5 наведено гілку показників фізичних вла-

стивостей. У доповіді аналогічну класифікацію здійснено й для інших категорій властивостей. Таку докладну класифікацію може бути використано для сертифікації наноматеріалів.

Взагалі класифікування елементів (об'єктів) тієї чи іншої множини у природничих і технічних науках традиційно здійснюється за вже усталеними правилами, які передбачають:

1) застосування в одній і тій самій класифікації однієї основи;

2) рівність суми підмножин (класів) і множини, що класифікується;

3) взаємне виключення елементів класифікації у різних підмножинах (класах);

4) неперервну послідовність (включення всіх щаблів ієрархії без «перестрибування» через деякі з них).

Наведена в роботі [5] класифікація наноматеріалів значною мірою відповідає цим правилам. Серед відхилень від них треба зазначити перехід від критерію «внутрішня/зовнішня структура» до критерію «хімічна природа/ідентичність» лише стосовно наноконпозиційних матеріалів. Властивості нанооб'єктів і наноструктурних матеріалів у класифікації не враховано. Ще однією її вадою є відсутність визначеності щодо співвідношення категорій, які відображають властивості наноматеріалів, із категоріями хімічної природи/ідентичності. Слід зауважити, що в доповіді ISO/TR 11360:2010 використовується неоднозначний термін «зовнішня структура наноматеріалу». Краще в такому разі застосовувати термін «поверхнева структура», як це запропоновано у стандарті ISO/TS 80004-1:2010.

Потребу подальшого вдосконалення системи «нанодерево» з розвитком нанотехнологій зазначено у тексті доповіді. Актуальність цієї доповіді полягає в досить повно поданій номенклатурі наноматеріалів, у визначенні способів ідентифікації їх, широкому ознайомленні суспільства з новими різновидами нанопродукції, обговоренні шляхів розвитку стандартизації в галузі нанотехнологій і наноматеріалів.

## Висновки

Класифікаційна система «нанодерево» відображає сучасне розуміння будови наноматеріалів та зв'язку між ними з огляду на розмір і традиційні функціональні властивості, за допомогою

яких можна відрізнити наноматеріали один від одного. Актуальність такої системи полягає в складанні номенклатури різних типів наноматеріалів, що важливо для широкого ознайомлення суспільства з різновидами виготовленої та використовуваної продукції, та в можливості прогнозування перспективного комерційного застосування, а також обговорення з метою подальшого розвитку стандартизації. Система «нанодерево» має й надалі постійно вдосконалюватися з огляду на результати використання інших адекватних систем класифікації у сфері нанотехнологій.

Рассмотрены примеры современных методов классификации в области наноматериалов. Наиболее информативной является методология классификации, представленная в ISO/TR 11360:2010. Эта методология построена по типу «нанодерево».

**Ключевые слова:** нанотехнологии, наноматериалы, классификация, терминология

The instances of modern methods of classification of nanomaterials are observed. The methodology of classification presented in ISO/TR 11360:2010 is most informative. This methodology is based on type «nano-tree».

**Key words:** nanotechnologies, nanomaterials, classification, terminology

1. *ISO/TS 80004-1:2010 Nanotechnologies – Vocabulary – Part 1: Core terms.* – Ed. 2010–10–15. – ISO, 2010. – 4 p.
2. *ISO/TS 80004-3:2010 Nanotechnologies – Vocabulary – Part 3: Carbon nano-objects.* – Ed. 2010–05–01. – ISO, 2010. – 7 p.
3. *ISO/TS 27687:2008 Nanotechnologies – Terminology and definitions for nano-objects – Nanoparticle, nanofibre and nanoplate.* – Ed. 2008–08–15. – ISO, 2008. – 7 p.
4. Павлыго Т.М., Сердюк Г.Г., Шевченко В.И. Стандартизация в области нанотехнологий и наноматериалов // Наноструктурное материаловедение. – 2010. – № 3. – С. 70–80.
5. *ISO/TR 11360:2010 Nanotechnologies – Methodology for the classification and categorization of nanomaterials.* – Ed. 2010–07–15. – ISO, 2010. – 32 p.
6. Наноразмерные структуры: классификация и исследования. Общие сведения о наноразмерных структурах. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.portalnano.ru/read/iInfrastructure/progn/nanostr>.
7. *ISO/TR 12885:2008 Nanotechnologies. Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies.* – Ed. 2008–10–01. – ISO, 2008. – 86 p.