

УДК: 378.1

## ЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЇ В УМОВАХ РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙНОГО СУСПІЛЬСТВА

Чумак О.В. (м. Запоріжжя)

### **Анотація**

*В статті аналізується становлення і перспектив розвитку нанотехнологій, які виступають складовою розвитку інноваційного суспільства та ключовим ресурсом трансформації різних сфер людського буття; визначена їх роль у формуванні нової наукової культури; визначено етичні проблеми, пов'язані із впровадженням нанотехнологій у реальне життя.*

*The article presents the analysis of the formation and the perspectives of nanotechnology development that appear as the innovative society development factor and the key life cycle of transformations in different spheres of human being existence; their role in formation of new scientific culture is shown and the ethical problems connected with introduction of nanotechnology into the real life are defined.*

### **Ключові слова**

НАНОТЕХНОЛОГІЇ, ІННОВАЦІЙНЕ СУСПІЛЬСТВО, НАНОМАСШТАБ, НАНОІНСТРУМЕНТИ, ФІЛОСОФІЯ НАНОТЕХНОЛОГІЇ, ЕТИЧНІ ПРОБЛЕМИ

### **Вступ**

Філософські питання розвитку нанотехнологій є великими актуальними та водночас складними, оскільки стосуються філософії науки, соціології науки, філософії техніки, філософії хімії, політики та етики. В умовах інноваційного розвитку суспільства розгортаються дискусії у ставленні до нанотехнологій, і вона є частиною більш широких дискурсів з приводу нових технологій взагалі – тих ризиків, які вони несуть суспільству. Виникає питання, як можна узгодити емерджентні інноваційні (наукового і технологічного розвитку) процеси з їх соціальними ефектами. Дослідження сучасних дискурсів з приводу нових технологій, особливо таких, як нанотехнології, та їх значення для майбутнього високих технологій вимагають більш виваженого ґрунтового погляду на це майбутнє. Сучасний час є настільки стислий, що майбутнє знаходиться уже в теперішньому. Науковий і технологічний розвиток набув чітко емерджентного (інноваційного) характеру, який власне і визначає, якою має бути філософія науки і технологій - «прискореною», «випереджаючою» - спрямованою у майбутнє. Інноваційний розвиток неможливо ні зупинити, ні уповільнити. Його необхідно лише аналізувати для того, щоб керувати ним ефективно в інтересах всього суспільства.

### **Мета статті**

- проаналізувати феномен нанотехнологій як складової розвитку інноваційного суспільства;
- визначити основні напрями використання нанотехнології у різних сферах суспільства;
- з'ясувати сутність і значення такого феномену, як «нанотехнологія»;
- визначити етичні аспекти впровадження нанотехнологій у різні сфери людського буття.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

В сучасній соціально-філософській літературі існують різні підходи щодо визначення сутності нанотехнології, проблем та перспектив її застосування в умовах розвитку інноваційного суспільства. Дослідженню загальних проблем та перспектив використання нанотехнології у різних сферах людської діяльності присвячено багато робіт закордонних авторів, зокрема Дрекслера Е., Кірбі А., Стефенсона Н., Шимана Г. та інших. Етичним аспектам впровадження нанотехнології у реальне життя присвячені праці американських дослідників Левенстайна Б.В., Престона К. Дж., Шумера Д., російського вченого Лєтова О.В. Основним експертом з питань «філософії нанотехнології» є вітчизняний науковець Лукьянець В.Г. Між тим обрана тема дослідження вимагає подальшого філософського аналізу.

### **Обговорення проблеми**

Дати визначення нанотехнології непросто, оскільки вона сформувалася на стику різних наук (фізики, хімії, біології та ін.). Нанотехнологію можна розглядати у якості терміна, який відображає різні дисципліни, кожна із яких має свій власний метод дослідження. Можна сказати, що нанотехнологія – це один із нових наукових напрямів, що досліджує властивості речовини на макрорівні та можливості конструювання різного роду устроїв, розміри яких вимірюються міліарними долями метру, тобто, по суті справи, молекул, використовуючи унікальні та достатньо сильні електричні, фізичні і хімічні властивості матеріалів, що проявляються у даному діапазоні.

Термін «нанотехнологія» увів один японський інженер в 1974 р., а у масовий лексикон воно увійшло в 1986 р. завдяки Е. Дрекслеру, який назвав ключовим атрибутом нанотехнології її саморозвиток – як технології «відтворення на рівні молекулярних та атомних асамблей майже всього того, що створила природа за своїми законами. Нанотехнологія, на його думку, дозволяє зробити те, що ми тільки можемо замислити, у тому числі і нові, невідомі природі молекулярні (атомні) ансамблі. Саме ця нова організація реальності, у свою чергу, відкриє нам світ нових технологій, про які ми навіть не запідозрюємо. Сучасний технологічний прорив визначається можливостями подібного реструктурування матерії, яке здатне перетворити світ.

Нанотехнологічна «висота» дозволяє нам більш ясно побачити як минуле, так і майбутнє» [1, с. 313]. Дана характеристика нанотехнології розглядається у межах «телеологічного визначення», коли конкретне дослідження можна віднести до нанотехнології у тому випадку, якщо воно сприятиме реалізації перспективної задачі – покращити умови життя, починаючи від промислового виробництва і закінчуючи фізичним, психологічним і соціальним аспектами людського буття. Телеологічне визначення нанотехнології нерідко зводиться до дискусії з приводу норм і цінностей, виражених у формі надій і сподівань [2, с. 219]. Співробітники Національного управління США з авіації та дослідження космічного простору пропонують «номінальне» визначення нанотехнології. «Нанотехнологія – це створення функціональних матеріалів, устроїв та систем за допомогою контролю над матерією на нанорівні (1-100 нанометрів) та використання нових явищ і властивостей на цьому рівні» [3]. Але нанотехнології не вичерпуються тільки маніпуляціями на атомному рівні. У даному випадку має місце якісно новий рівень маніпуляцій, який вимагає подальший розвиток фундаментальних наук.

Таке сприйняття нанотехнології характерним є для середини 1980-х років. Але вже до середини 1990-х років нанотехнологічний проект реалізовувався настільки, що дослідники змогли, зокрема, констатувати: «Сьогодні нанотехнологія досягла вершин, які змушують думати не стільки про те, що вона могла б нам принести, скільки про те, що ми маємо з нею робити» [4, с. 313]. У сучасній літературі неологізм «нанотехнологія» може вживатися як у вузькому, так і в широкому сенсах. У вузькому змісті він означає будь-яку технологію, яка оперує з атомами, атомарними і молекулярними структурами. У гранично широкому сенсі, цей неологізм означає або суму усіх можливих нанотехнологій, або особливу трансдисциплінарну галузь нанодосліджень, яка виникла зовсім недавно на базі видатних досягнень фундаментальної фізики, біології, хімії, біохімії, гноміки. Приставка «нано» у цьому неологізмі (як і у всіх неологізмах) означає, що мова йде про технології, що оперують з величинами порядку нанометру (тобто однієї мільярдної метру). Наномасштаб практично неможливо відобразити. Це – менше, ніж звичайний вірус, але більше ніж більшість атомів і простих молекул. Будучи за межами прямого людського сприйняття, наномасштаб також знаходиться і за межами чуттєвості більшості технічних форм. За допомогою нанотехнологій їх користувачі (тобто, фізики, біологи, хіміки, кібернетики, медики, спеціалісти у галузі генної інженерії) конструюють молекулярні та надмолекулярні структури, які володіють заздалегідь завданими властивостями і здатні виконувати ті або інші функції, корисні людині [5, с. 17].

Філософія нанотехнології – це галузь філософської рефлексії, що здійснюється над сучасним переходом цивілізації до експлуатації суми нанотехнологій. В контексті цієї рефлексії, згаданий перехід

осмислюється як епохальна подія глобальної еволюції популяції *Homo sapiens*. Людська популяція постає тут як складна відкрита нелінійна система, яка обмінюється із навколишнім світом енергією, речовиною, інформацією. Обмін, про який йде мова, залежить від тієї суми технологій, які слугують технологічною базою відтворення людської популяції. Кожен перехід до нової суми технологій – технологій виробництва енергії, речовин, інформації, які використовуються цивілізацією, - це кардинальне оновлення самого способу відтворення популяції *Homo sapiens*. Пануючі нині технології – це, в основному, технології переробки вже готових речовин, рослин, тварин, які створила сама природа. Сума нанотехнологій дозволяє виробляти будь-які речовини, енергію, інформацію безпосередньо із атомів та молекул. Саме тому перехід до суми нанотехнологій спричинює не лише глобальні економічні, соціальні, екзистенціальні наслідки, але і гігантське розширення меж людського існування. В контексті «філософії нанотехнології», людина розглядається як суб'єкт планетарних дій, що здійснюються за допомогою все більш потужної індустрії нанотехнологій. Нанокосмос, для такого суб'єкта, - це необмежений склад енергетичних, речовинних, інформаційних ресурсів. Але людина – це не пасивний споживач ресурсів наносвіту. З них він творчо конструює такі самовідтворювані штучні молекулярні машини, яких не існує в природі. Незважаючи на свою штучність, такі наномашини здатні більш ефективно виконувати всі ті корисні функції, які виконують природні ДНК, РНК, гени, геноми, віруси, бактерії, рослини, тварини. Створюючи все більш потужний «парк» таких неприродних молекулярних машин, людина сподівається з їх допомогою виробляти всі ресурси, необхідні для самовідтворення планетарної цивілізації.

До арсеналу наноінструментів, за допомогою яких людина вже сьогодні вторгається у фундаментальні першооснови природного та біо - соціального життя, входять скануючі тунельні мікроскопи та атомно-силові мікроскопи. Найближчим часом мають з'явитися самовідтворювані репліка тори, ассамблери (універсальні засоби конструювання на молекулярному рівні, які можна порівняти із рукою-роботом, яка використовується на сучасному автоматизованому виробництві), дизассамблери, нано-біо-процесори та інші молекулярні машини, які здатні самостійно не лише маніпулювати окремими атомами, але і шляхом перестановок атомів: самовідтворюватися; створювати із наявного матеріалу (тобто із атомів) будь-які корисні для людини матеріали, речовини, машини, одяг, їжу; мандруючі по людському тілу і проникаючі усередину клітин, вони можуть відновлювати пошкоджені внутрішньоклітинні об'єкти, покращувати генні структури і тим самим підтримувати тривале існування будь-якого живого організму [5, с. 20-21]. Схематично використання названих наномашин може відкрити для людства певні потенційні можливості. У найближчі 25

років очікується поява перших нанороботів, здатних конструювати із готових атомів будь-який молекулярний устрій, який виконує функції хімічних матеріалів, нанокomp'ютерів, рослинних і тваринних організмів.

В обробній промисловості у майбутньому з'явиться можливість синтезувати у нанодіапазоні з молекул вихідні конструктивні блоки контрольованого розміру і збирати з них більш крупні структури із заздалегідь заданими властивостями і функціями. Це призведе до революції у виробництві матеріалів, у тому числі до створення матеріалів, що не мають аналогів у природі. Наприклад, минуючи традиційну механічну обробку, можуть бути сконструйовані наноструктуровані металеві, керамічні та полімерні матеріали заданої форми; очікується створення високоміцних покриттів для ріжучого інструменту та різних технологічних додатків в електроніці і хімічній промисловості [6]. У галузі *наноелектроніки і комп'ютерної технології* може бути досягнутий значний прогрес в мініатюризації (аж до розміру у 100 нм до 2010 р.), підвищенні швидкості і продуктивності приладів з обробки інформації – вхідних датчиків, логічних пристроїв, дисплеїв та пристроїв для передачі інформації. Обговорюються перспективи зібрання за допомогою нанотехнологій інтегральних схем високого рівня складності та функціональності на основі подальшої мініатюризації їх активних полу провідникових елементів, а також об'єднання останніх у трьохмірні (багатозарові) структури [7]. Передбачається також, що нанотехнологізація сільськогосподарського виробництва призведе до появи молекулярних біороботів, які будуть виробляти їжу, не менш ефективно, ніж це роблять рослини і тварини. У галузі медицини можливе створення молекулярних роботів-лікарів, які здатні «жити» всередині людського організму. Такі нанороботи будуть здатні усувати усі пошкодження, або попереджати їх виникнення. Таким чином нанотехнології будуть гарантувати людині довголіття. У сфері екології практика нанотехнологізації обіцяє попередити екокризу, що насувається. Нові види промисловості, засновані на експлуатації нанотехнологій, не будуть виробляти відходів, які отруюють ґрунти, атмосферу, світовий океан, а нанороботи зможуть знищувати наслідки старих забруднень. Але практика здійснення цих «нанопроєктів» зовсім не зводиться до створення та безперервної модернізації індустрії нанотехнологій, за допомогою яких людина (на свій розсуд) змогла б (починаючи з атомного рівня і закінчуючи мегарівнем) перебудувати будь-який фрагмент природного світу. В тих випадках, коли така практика з будь-яких невідомих причин здатна вийти з-під контролю людини, передбачити її глобальні негативні наслідки неможливо. Ось чому проблема створення надійних гарантій, що здатні попередити подібні випадки виходу наномашин з-під контролю людини, має життєво важливе значення [5, с. 22].

Розвиток нанотехнологій пророкує багато переваг, починаючи від енергозбереження і закінчуючи покращенням стану охорони здоров'я. У

той же час, він несе потенційні ризики для навколишнього середовища, приватної конфіденційності, соціальні та політичні ризики. Але нанотехнології не слід оцінювати у термінах переваги і ризику. Наявність соціальних та етичних проблем нанотехнологій свідчить, що наука і технології існують лише у соціальному контексті. Під етичними проблемами розуміють конфлікт між розвитком технології та моральними переконаннями окремого індивіда або системою суспільної моралі в цілому. Соціокультурні умови тієї чи іншої країни включають до себе такі компоненти, як мова, культурна спадщина, економіка, політика та етика. Етичне сприйняття конкретної проблеми багато в чому визначається культурною та історичною спадщиною тієї чи іншої країни. Так, в Європі, жителі якої зазнали у ХХ ст. дві світові війни, скептично відносяться до проектів застосування досягнень нанотехнології у військових цілях, справедливо вбачаючи в цьому новий виток гонки озброєнь. У той же час в США багато громадян підтримають ідею про те, що нові технології будуть сприяти укріпленню обороноздатності країни та перетворенню її у єдиного світового лідера. Постановка етичних проблем тісно пов'язана з уявленнями про «хороше» життя. Якщо у межах традиційних культур більше уваги приділяється суспільному благу, то в умовах сучасної «індивідуальної» культури особливе місце відводиться фізичному і духовному здоров'ю окремої людини. Нанотехнологія, як і інші види технологій, спрямована на покращення умов життя людей. Але покращення одних сторін життя може здійснюватися за рахунок інших. Наприклад, покращення фізичного здоров'я та суттєве подовження часу життя людей може супроводжуватися збільшенням кількості душевно хворих людей, які стають такими в силу вікових причин. У межах різних культур пріоритет відводиться різним етичним цінностям. Деякі цінності стають антагонічними по відношенню один до одного. Так, безпека і свобода є антагонічними цінностями, оскільки укріплення безпеки нерідко супроводжується обмеженням свободи і, навпаки, розширення свободи послаблює ступінь безпеки людей. Якщо, наприклад, нанотехнологія сприяє укріпленню безпеки за рахунок удосконалення системи спостереження, то тим самим певною мірою обмежується свобода людей. Так само можуть вступати у конфлікт між собою такі цінності, як корисність і справедливість. Удосконалення атрибутів і особливостей окремих людей за допомогою нанотехнології може сприяти соціальному розшаруванню і тим самим породжувати несправедливість. В умовах кожної культури люди намагаються знайти баланс між протилежними цінностями. Хоч у різних країнах пріоритет може віддаватися різним цінностям [2, с. 229].

Вчені, які займаються етикою навколишнього середовища, по-різному підходять до перспектив та потенційних загроз з боку нанотехнологій. Одні з них можуть дотримуватися життєвої етики, інші зводять «слабкий» антропоцентризм, треті орієнтуються на екосистем

ний холізм, п'яті – на етику турботи тощо. Американський філософ К. Дж. Престон зводить різноманіття етичних проблем нанотехнологій до чотирьох, які якнайбільше привертають увагу громадськості та екологів: 1) створення нових типів речовин; 2) неконтрольоване відтворення; 3) використання нанотехнологій з метою покращення людського організму; 4) можливість задоволення всіх матеріальних потреб людей [8, с. 32-35]. Перша проблема викликає занепокоєння у зв'язку з невпевненістю, чи будуть біосистеми та екосистеми продовжувати функціонувати за наявності нових типів речовин. Як живі, так і неживі об'єкти природи зможуть обернутися у штучні, що створює радикальну загрозу онтологічній категорії природного буття. Проблема неконтрольованого відтворення, або «сірої безодні» («grey goo»), була вперше піднята апологетом нанотехнологій Еріхом Дрекслером [1]. Він показав, що в цілях залучення нових енергоресурсів для процесів виробництва макрооб'єктів дослідники можуть вдаватися до відтворення нових об'єктів. Але подібний процес, вийшовши з-під контролю та само відтворюючись експоненціально, може перетворити навколишнє середовище у «сіру безодню» нанороботів, які само відтворюються. Будь-яка спроба створення подібних систем є загрозою природному еволюційному процесу і тому має стримуватися.

Аргументи «за» та «проти» покращення людського організму більш комплексні. Етичні межі, у яких має розглядатися це питання, - утилітаризм, права, автономія – підлягають тут певній небезпеці. З одного боку, розвиток нанотехнологій може сприяти вирішенню завдань з охорони здоров'я, а з іншого – виникає багато складних проблем: створення кіборгів, які потенційно можуть переважати людину; гомогенізація людського геному; права доступу до технологій і навіть потенційна «перемога смерті». Тут етика навколишнього середовища має рахуватися з етикою медичною. Штучне запліднення, електронні стимулятори серця та імпланти сітківки вже «грають» із спадковістю та природним еволюційним процесом. Прихильники нанотехнологій обіцяють такі переваги, як подолання нестачі матеріальних ресурсів, усунення забруднення навколишнього середовища, необмежене виробництво дешевої сонячної енергії, кінець злиденності, лікування раку, відновлення вимираючих видів і т. д. На противагу цим думкам Престон відзначає, що досить дешева електроенергія та атомна енергія не вирішать проблеми нестачі енергоресурсів, а перестороги щодо виснаження не відтворюваних ресурсів зовсім не зупинили їх видобуток. Обіцянки вирішення проблеми будь-яких забруднень породжують халатне ставлення до сьогоднішніх загроз екології і створюють загрозу існуючим екологічним цінностям, таким, як чиста вода, недоторкане природне середовище та різноманіття видів. Таким чином, рішення, запропоновані нанотехнологіями, можуть стати квазірішеннями, які, вирішуючи одні проблеми, породжують ряд нових і більш складних.

Етична проблематика наслідків впровадження нанотехнологій у реальне життя ставить вже сьогодні перед людством питання: невизначеності наслідків розвитку нанотехнологій; проблеми конфіденційності; розподілу технологічного розвитку між різними країнами світу; проблеми інтелектуальної власності; нерівномірності розвитку освіти у різних регіонах. Все це вимагає правового регулювання з боку держави. Головна небезпека нанотехнології полягає не в погрозі нещасного випадку, а у можливості зловживання цією технологією. Нанотехнології мають такий великий потенціал, що вони могли б використовуватися у руйнівних цілях так же легко, як і у творчих. Ця погроза потребує такого рівня політичного контролю над новими технологіями, який ще невідомий для сучасних державних діячів. Необхідним є пошук шляхів, у межах яких би свобода дослідників поєднувалась би з неприпустимістю серйозних зловживань результатами їх робіт.

### **Висновки**

В умовах впровадження у реальне буття значної кількості новітніх технологій велику роль у подальшому розвитку інноваційного суспільства може відіграти інтеграція природничо - фундаментальних та соціально-гуманітарних наук навколо нанотехнологій. Ця інтеграція могла б зробити політику у галузі нанотехнологічної інновації частиною безпосереднього процесу виробництва знань. Теоретичні основи такого підходу до виробництва знання – це справа не лише вчених, але і суспільства в цілому.

Етичний аналіз досягнень нанотехнології у певному сенсі об'єднує наукові методи і цінності. Трансдисциплінарність сучасної науки, з одного боку, виявляє внесок технології у пізнання людської природи. З іншого, застосування нанотехнології у медичній практиці та інших соціально значущих галузях вимагає подальшого філософського та етичного дослідження. У випадку конфлікту між наукою, природою, виробництвом та мораллю вчений та технолог можуть виступати: 1) експертами, які надають необхідну інформацію; 2) відповідальними особами, які оцінюють інформацію та приймають етично дозволені рішення. Етичні експерти повинні знаходитися на передовому краї, а не на периферії розвитку нанотехнології.

Таким чином, нанотехнологія здатна суттєво покращити життя людей, але розвиток даної дисципліни вимагає етичної рефлексії.

### **Перспективи подальших досліджень:**

- аналіз етичних проблем впровадження у реальне буття інших новітніх технологій;
- подальший розвиток феномена інноваційного суспільства;
- дослідження основних етапів розвитку базових інновацій;
- аналіз формування нової наукової культури та її впливу на розвиток особистості.



**Джерела**

1. Drexler E. Engines of creation: The coming era of nanotechnology. – N.Y.: Anchor press / Doubleday, 1986. – P. 412
2. Stephenson N. The diamond age. – N.Y. : Bantam Books, 1995. – P. 31.
3. Schummer J. Cultural diversity in nanotechnology ethics // Interdisciplinary science rev. – N.Y., 2006/ - Vol. 31, N 3. – P. 217-231. – Mode of access: <http://www.ingentaconnect.com/content/>
4. NASA armes research center. – Mode of access: <http://www.ipt.ars.nasa.gov/nanotechnology.html>.
5. Лукьянец В.С. Наукоёмкое будущее. Философия нанотехнологии. Загадка SILENTIUM UNIVERSI. // Практична філософія. - № 3. – 2003 (№ 9). – С. 10-27.
6. National Nanotechnology Initiative: Leading fo the Next Industrial Revolution. A Report by the Interagency Working Group on Nanoscience. Engineering and Technology National Science and Technology Council. February 2000. Washington, D.C.
7. Promoting Innovation Office of Science and Technology Policy, Executive Office of the President Eisen hower Executive Office Building. Washington, D.C. 96 Nano Investor News – Nanotechnology in Japan. 2004.
8. Preston Ch. J. The promise and threat of nanotechnology: Can environmental ethics guide us? // HYLE: Intern. J. for philosophy of chemistry. – Karlsruhe, 2005. – Vol. 11, № 1. – P. 19-44. – Mode of access: <http://www.hyle.org>.

*Стаття надійшла 10.03.2009 р.*