

ФІЛОСОФІЯ НАУКИ ТА ЦИВІЛІЗАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК

УДК 17.0+316.422

Т. В. Гардашук
Інститут філософії
імені Г. С. Сковороди НАН України

НАНОТЕХНОЛОГІЇ ТА НАНОЕТИКА: ПИТАННЯ ДЕФІНІЦІЇ

У статті розглянуто особливості розвитку нанотехнологій як пріоритетного напрямку науково-технічного прогресу, а також етичні рефлексії над цим процесом, що описуються поняттям «наноетика». Спрямованість дискусій щодо етичних аспектів розвитку нанотехнологій залежить від визначення нанотехнологій. Наноетика не може зводитися до «етики небезпеки», але має безперервно відстежувати й аналізувати нові ситуації, що виникають унаслідок розвитку нанотехнологій.

Ключові слова: *нано, нанонаука, нанотехнологія, наноетика, постнекласична наука.*

Протягом останніх десятиліть нанонаука і нанотехнології набули пріоритетних позицій у науково-дослідній та інженерно-прикладній сферах. Про це свідчить питоме зростання досліджень із нанонауки і нанотехнологій в як в глобальному науковому просторі, так і в Україні, обіцяючи у цілком досяжній перспективі стати одним із провідних напрямів світової науки та економіки. Згідно з даними Спільного офісу підтримки інтеграції України до Європейського дослідницького простору (JSO-ERA) 2011 року, тепер в Україні працює понад 7 тисяч науковців з-понад 30 наукових установ, десять з яких належать до Національної академії наук України [9].

Уже сьогодні нанотехнології застосовуються у найрізноманітніших галузях промисловості, медицини, у транспортній, інформаційній і телекомунікаційній сферах, а також у царинах збереження матеріалів та енергоресурсів, удосконалення методів виявлення та подолання наслідків забруднень довкілля тощо. Так, у 2006 році в обізі на світовому ринку було зафіксовано понад 600 виробів, для виробництва яких застосовувалися нанотехнології, загальна вартість яких становила 50 млрд. доларів [2]. Проте в наш час новітні тенденції науково-технічного і технологічного прогресу постають не лише як засоби вирішення нагальних потреб людства, а і стають чинником виникнення нових загроз і ризиків.

Бурхливий розвиток нанотехнологій та їх практичне впровадження в різноманітні практики сьогодення, а також перспективи розширення цих практик у майбутньому викликають інтерес до них не тільки серед представників різноманітних природознавчих і технічних дисциплін, а й серед гуманітаріїв.

У статті ми спробуємо здійснити філософсько-методологічний аналіз особливостей розвитку нанонауки й нанотехнологій, з'ясувати етичні питання, спричинені цим процесом.

Так, у науковій літературі та засобах масової інформації останніх років дедалі частіше зустрічається неологізм «**наноетика**», яким позначають різновид практичної етики або один з розділів етичних суб-дисциплін. Появу наноетики пояснюють етичною реакцією на тенденції розвитку **нанонауки** та ймовірні наслідки практичного впровадження **нанотехнологій**. Причому етики частіше виступають у ролі критиків нових напрямів науково-технічного і технологічного прогресу, ніж їх апологетами [10, 56]. Проте, наноетика не може і не повинна зводитися лише до «етики небезпеки» («disaster ethics»).

Незважаючи на значну поширеність поняття наноетика (близько 119 тисяч посилань в мережі Інтернет), усе ж таки залишається відкритим питання про те, чи доречно виділяти наноетику в окремий напрям етики, а якщо так, то у чому полягає її особливість і на яких підставах має здійснюватися таке виокремлення? Щоб дати відповідь на це запитання, насамперед, необхідно розглянути коло проблем, пов'язаних з розвитком нанотехнологій, які, власне, й дали поштовх до дискусій щодо формування наноетики як спеціальної етичної дисципліни.

Як зазначають дослідники, зміст і спрямованість дискусій щодо етичних аспектів розвитку та широкого впровадження нанотехнологій значною мірою залежать від підходу до визначення самих нанотехнологій [8; 10]. Тому варто докладніше розглянути визначення нанотехнологій.

Префікс «нано» у перекладі з грецької – («nanos»), або латини («nanus»), означає «малий», «карлик». Нанометр – це одиниця довжини, що становить одну мільярдну метра, або одну мільйонну міліметра. Поняття «нанотехнології» вперше запропонував у 1986 році Ерік Дрекслер. Унікальність нанотехнологій полягає в тому, що вони засновані на оперуванні частками розміром від 1 до 100 нанометрів і маніпулюють з окремими атомами та молекулами або використовують їх властивості, що виявляються на нанорівні. Визначення нанотехнологій, що апелює до розміру, називають **номінальним визначенням** [10, 81–82]. Поряд з номінальним визначенням у літературі існує **телеологічне** (або візіонерське) та **реальне** визначення нанотехнологій [10, 82–84].

Визначення нанотехнологій пов'язане не лише з розміром, а і з принципом, що лежить в основі нанотехнологій, під час отримання наноматеріалів (наночастинок). Зокрема належать маніпулювання з окремими атомами; застосування хімічних методів, самозбирання, самоскладання. Нанотехнології також можна визначати і класифікувати за умовами функціонування із застосуванням досить широкого діапазону підходів: механічні наномашини, в основі функціонування яких лежить механічний принцип (коліщата, вості, насоси, передавачі, петлі, трубки); обчислювальні чіпи, розміри яких вписуються в нанодіапазон; асемблери, де-асемблери та реплікатори для конструювання молекулярних структур відповідно до законів

природи. Природними аналогами цього підходу є, наприклад, реплікація клітин, ДНК та РНК.

Дослідники також виділяють *чотири генерації нанотехнологій*, беручи до уваги принципи їх створення та використання, причому ця класифікація охоплює як теперішні досягнення науки й технології, так і прогнози на майбутнє [6]. Так, до *першої генерації* належать пасивні наноструктури: наночастки, нанотрубки, нанокомпозити, наноструктурні матеріали, створення яких припадає на 2000–2010 роки. До *другої генерації* належать активні наноструктури (електронні пристрої, сенсори, цільові препарати, або «targeted drugs», адаптивні структури), які вже розробляються дослідники. Ця діяльність активно триватиме до 2020 р., тобто друга генерація нанотехнологій охоплює період з 2010-х років. Кінець цієї ж декади – це час *третьої генерації* нанотехнологій, що матимуть справу з цільовими молекулярними асемблерами, 3D-мережами, нанороботами, супрамолекулами тощо. А потім настане час наносистем, заснованих на «молекулярному дизайні». За прогнозами, ці системи матимуть ієрархічну структуру й будуть здатні до самоevolюції (*четверта генерація нанотехнологій*).

Наведена систематизація нанотехнологій не означає, що створенням складних наносистем четвертої генерації вичерпуються можливості нанотехнологій, але вчені поки що не беруться прогнозувати наступні етапи цього напрямку науково-технічного прогресу.

Незважаючи на певне розмаїття підходів до визначення нанотехнологій, ключовим усе ж таки залишаються параметри об'єктів, якими вони оперують. Утім такі ж параметри мають чисельні природні об'єкти, які протягом тривалого часу досліджуються природничими і технічними науками (хімія, матеріалознавство, фізика твердого тіла, молекулярна біологія та хімія, механіка, електроніка тощо). Дехто з учених навіть ставить знак рівності між хімією як наукою, що вивчає молекулярно-атомні перетворення речовин, та нанонаукою. Однак у зв'язку зі стрімкою популяризацією нанотехнологій як інноваційного й багатообіцяючого напрямку науки і техніки представники природничих дисциплін та інженери дедалі частіше позиціонують свої дослідження як такі, що належать саме до наносфери відповідно до номінальної дефініції. Такий «ре-брендинг» створює можливості для позиціонування цих напрямів як найпередовішого флангу науки й технології і відповідно для підвищення шансів для додаткового фінансування досліджень та впроваджень [10].

Телеологічне, або візонерське, визначення спирається на акцентованій фіксації цілей, які можна буде досягти за допомогою новітніх технологій. Тобто нанотехнології визначають як технології, що уможливають у майбутньому вирішення завдань, які не під силу іншим технологіям. До цих завдань належить: подолання невиліковних нині хвороб, посилення фізичних, психічних та інтелектуальних можливостей людини, зростання добробуту, підвищення безпеки тощо. Іншою стороною телеологічного визначення є визначення нанотехнологій як таких, що можуть вийти з-під суспільного

контролю, натомість перетворивши суспільство та окремих його членів на об'єкт маніпулювання за допомогою нанороботів. Таким чином, телеологічні дефініції, що зустрічаються переважно в науково-популярній та футурологічній літературі, ґрунтуються на уявленні про те, що нанотехнології в майбутньому радикально змінять умови життєдіяльності людей, а також їх фізичні, інтелектуальні та психологічні можливості, апелюючи при цьому радше до емоцій, сподівань та страхів, ніж до конкретних наукових знань. Етичні проблеми нанотехнологій є частиною телеологічного визначення, оскільки вказують на те, що ми маємо бажати і чого ми маємо боятися, або що є добре, і що погано для людини і суспільства загалом [10, 82–83].

Реальне визначення звертається до переліку дослідницьких тем (напрямів) під «парасолькою» нанотехнологій в урядових дослідницьких програмах, центрах нанотехнологічних досліджень, журналах з нанотехнологій та на конференціях, охоплюючи широке коло наукових дисциплін та новітніх інженерних упроваджень [10, 83–84].

Крім того, зважаючи на усвідомлення того, що будь-які вигоди від нових технологій та їх практичного впровадження супроводжуються певними ризиками, уже зараз наноматеріали та пов'язані з ними технології умовно поділяють на **«хороші нано»** («good nano»), тобто такі, що підвищують ефективність лікування, використовуються як сенсори для виявлення небезпечних хімічних сполук і допомагають долати наслідки забруднення довкілля тощо, та **«погані нано»** («bad nano»), тобто ті наноматеріали, довгострокові впливи яких на здоров'я та довкілля або невідомі, або вже виявили негативні впливи [12]. Хоча очевидно, що такий оцінний поділ є досить умовним.

Таким чином, навіть з побіжного аналізу визначень нанотехнологій можна зробити такі висновки.

По-перше, якщо співвіднести різні підходи до визначення нанотехнологій, то стає очевидним, що номінальний та реальний підходи охоплюють першу і початкові етапи другої генерації нанотехнологій, тоді як третя і четверта генерації нанотехнологій цілком підпадають під телеологічне визначення.

По-друге, процедура визначання нанотехнологій не зводиться до єдиної універсальної (жорсткої) дефініції, а швидше може бути описана за допомогою **парадигми прикладів нанотехнологій** (paradigm examples of nanotechnology) [8, 303–304] та **багатодисциплінарності** [10, 84].

По-третє, відповідно до обраної дефініції нанотехнологій вибудовуються прогнози щодо їх практичного застосування, їх переваг та недоліків. Такі прогнози, у свою чергою, впливають на формування уявлень про цей інноваційний напрям науково-технічного прогресу в суспільній свідомості, а також на формування стратегій соціально-економічного розвитку, засад наукової та інноваційної політики, визначення пріоритетів у формуванні дослідницьких програм, розподілі коштів тощо. Крім того, підходи до

визначення нанотехнологій безпосередньо впливають на формування переліку етичних проблем, пов'язаних з розвитком та впровадженням цих технологій.

Таким чином, нанонаука становить багатодисциплінарну галузь досліджень, що об'єднує фізику, хімію, біологію, матеріалознавство й інші споріднені науки та спрямована на дослідження унікальних властивостей об'єктів нанорівня.

Розвиток нанонауки і нанотехнологій безпосередньо відповідає ситуації постнекласичної науки, яка почала формуватися у другій половині ХХ ст. і перебуває у стані становлення [4; 5]. Так, особливість постнекласичної науки полягає в її безпосередньому зв'язку, а то й зрощенні з виробництвом, інформатизацією знання, «олюдненням» об'єкта дослідження. Тому не випадково постнекласична наука піддається рефлексії насамперед з боку соціології, психології, нових інформаційно-синергетичних підходів [5]. Етичні рефлексії над нанонаукою та нанотехнологіями, що узагальнюються за допомогою терміна «наноетика», також цілком відповідають характеристикам постнекласичної науки.

Досить поширеним є розуміння наноетики як різновиду професійної етики. Водночас наноетика не цілком відповідає моделі професійної етики з тих причин, що до досліджень з нанонауки і нанотехнології залучається досить широке коло фахівців, частина з яких не вважають себе професіоналами винятково у царині нанотехнологій чи наноетики. Тому наноетика відповідає не стільки моделям професійної етики, скільки моделі біоетики, яка розглядає етичні аспекти як біомедичних практик, так і біологічних наук. Так само і наноетика розглядає наслідки розвитку нанонауки і нанотехнологій [8, 305]. Зрештою, аналіз літератури дозволяє дійти висновку про те, що пріоритетом має стати не так пошук підстав для обґрунтування наноетики як самостійної дисципліни, як усвідомлення того, що нанотехнології породжують цілу низку етичних проблем, частина з яких є принципово новими, а частина їх може розглядатися як різновид чи модифікація попередніх проблем.

Можна виділити два підходи до етичного аналізу нанотехнологій:

- «спочатку етика – потім технології»;
- «спочатку технології – потім етика».

Перший підхід передбачає запровадження мораторію на певні напрями досліджень у нанонауці та практичне впровадження її досягнень доти, поки не будуть визначені ризики, створений кодекс поведінки в галузі нанонауки і нанотехнологій, розроблена відповідна законодавча база тощо. Утім, як доводить досвід, запровадження мораторіїв у науці є малоефективним, а заборони на певні напрями наукової діяльності на практиці завдають значної школи як самій науці, так і суспільству взагалі.

Другий підхід відводить етиці роль стороннього спостерігача за процесом розвитку нанонауки і нанотехнологій, і вже тоді, коли стане можливим окреслити тенденції цього розвитку, етики мають взятися за вироблення морально-етичних регулятивів та правил поведінки. За такого очікувального підходу суспільство виявиться не готовим до викликів, пов'язаних із цим

напрямом інноваційного розвитку, як, наприклад, трапилося раніше з використанням «мирного атома», наслідками «зеленої революції» та «генетичної ерозії», чи те, що відбувається в наші дні з поширенням генетично модифікованих організмів (ГМО). Складність питання може полягати ще й у тому, що, як і в разі використання та поширення ГМО, зважуючи «за» і «проти» застосування певних нанотехнологій, можуть зіткнутися інтереси екологічної безпеки та безпеки життя людини, з одного боку, та комерційні інтереси транснаціональних компаній, – з другого [1].

Таким чином, окремо взятий кожний із підходів є малопродуктивним під час розв'язання етичних проблем розвитку та поширення нанотехнологій, оскільки застосовується у формі дихотомії «або – або». Для зняття цих суперечностей пропонується *динамічний етичний підхід*, згідно з яким етична думка має безперервно відстежувати фактичний матеріал та осмислювати його, оскільки нові технології створюють ситуації, до яких не можуть беззастережно застосовуватися наявні етичні підходи [8, 305–206]. Динамічний етичний підхід може розглядатися як основа розв'язання суперечностей між інноваційним розвитком та мінімізації ризиків.

Етичні проблеми, пов'язані зі стрімким розвитком нанонауки і нанотехнологій, поділяють на «тонкі етичні проблеми» та «етику небезпеки».

Німецький дослідник Й. Шумер (J. Schummer) не заперечує важливої ролі етиків у розвитку та суспільному сприйнятті нанотехнологій. Хоча, на його думку, етики мають уникати катастрофічного ставлення до нанотехнологій та дискусій щодо драматичних і неймовірних сценаріїв, розгортаючи натомість дискусії навколо «*тонких етичних проблем*». Проте, порівняно з «*етикою небезпеки*» («*disaster ethics*»), яку наполегливо роздробляють трансгуманісти, такі «*тонкі етичні проблеми*» виглядають наївними та незначними і не привертають уваги широкого загалу. Проте саме етики мають взятися за цю справу.

Й. Шумер погоджується з тим, що етикам значно цікавіше мати справу з телеологічними визначеннями нанотехнологій та різноманітними уявними футурологічними сценаріями, ніж занурюватися в деталі конкретних досліджень із нанотехнологій. Футурологічні сценарії значно легше обговорювати з широким загалом, апелюючи до уяви і фантазії, тим паче, що це не потребує особливої наукової підготовки. Але такі етичні підходи не надто корисні для суспільного дискурсу. Проте, вони надають «кредит» академічним дослідженням, що позиціонують себе як нанотехнології, допомагаючи популяризувати їх як важливий нанотехнологічний рух у науці.

Не відкидаючи важливості етичних дискусій щодо нанотехнологій, Й. Шумер пропонує два підходи до визначення їх місця й статусу:

1. Етики мають бути свідомі динаміки суспільного дискурсу та власного місця в ньому. Вони можуть очолити етичні дискусії щодо нових технологій, сподівань і страхів, що вони породжують, а також щодо наукової політики в демократичному суспільстві. Риторичні та популяризаторські рефлексії над етичними проблемами навряд чи поглиблять наше розуміння дескриптивної

етики, але вони можуть сприяти формуванню нормативної етики та надавати ефективніші етичні поради.

2. Етика новітніх технологій не повинна займатися самоартикуляцією в публічних дискусіях, змагаючись із «зловісними мрійниками». Етичні рефлексії над новітніми технологіями мають здійснюватися в тісній співпраці з науковцями та інженерами, які безпосередньо працюють у цій царині. Цей підхід вимагає кращої спеціальної підготовки і глибшого розуміння науки, кращого комунікативного досвіду і, нарешті, бажання вчених та інженерів конструктивно співпрацювати з етиками.

Отже, на переконання Й. Шумера, культурні рефлексії та активне залучення до технологічного розвитку – це дві можливі форми вибору для етиків, завдяки яким можна зробити корисний внесок у розвиток науки і суспільства й уникнути «пасток популяризації» [11].

З позицією Й. Шумера солідаризується висновок французької дослідниці Б. Бенсо-Вінсент (B. Bensaude-Vincent) про *«дві культури нанотехнологій»*. Перша формується як філософська рефлексія над проектами нанонауки і нанотехнологіями, що впливають з футуристичних сценаріїв Е. Дреклера та його послідовників, тоді як друга формується «розмаїтою групою науковців», залучених до різноманітних наноініціатив, які намагаються дистанціюватися від футурологічних сценаріїв Е. Дреклера [7].

Як уже зазначалося, в Україні також спостерігається стрімке посилення гуманітарного інтересу до розвитку нанонауки, нанотехнологій і шляхів їх практичного застосування. Цей інтерес виявляється у двох напрямках.

По-перше, це спільне обговорення нагальних проблем учасниками конкретних дослідницьких проектів з нанотехнологій та представниками гуманітарних дисциплін. Цей напрям був легітимізований під час проведення 4-го Національного конгресу з біоетики (вересень 2010 р.) та дістав розвиток під час Міжнародного семінару «Етика нанотехнологій та нанобезпека» (Київ, 13 жовтня 2011 р.). Цей діалог буде продовжено і на наступному, Другому Міжнародному семінарі «Етика нанотехнологій та нанобезпека», запланованому на жовтень 2012 р.

По-друге, це зростання кількості публікацій, присвячених етико-філософським рефлексіям над перспективами розвитку нанотехнологій, їх конвергенції з іншими новітніми напрямками науково-технічного прогресу, та породжуваними ними «гуманітарними тривогами» і «наукогенними загрозами людському буттю». Відповідно завдання гуманітарії полягає в тому, щоб попередити ці загрози й стримувати природознавство, якщо його досягнення містять небезпеку існуванню людству [3, 3].

Власне, ця ситуація відображає зазначені Й. Шумером та Б. Бенсо-Вінсент тенденції розгортання етичних дискусій щодо розвитку нанонауки і нанотехнологій та їх суспільних наслідків. Яким чином розгортатимуться ці дискусії в майбутньому та яка їх суспільна ефективність, залежатиме як від розвитку наногалузі в Україні та її відповідності світовим

тенденціям, так і від діалогу між гуманітаріями та учасниками науково-технічних проєктів у нанонауці і нанотехнологіях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гардашук Т. В. Нанотехнології: соціально-етичні аспекти / Т.В. Гардашук // Сьогодні і біоетика / [редкол. : Ю.І. Кундієв (відп. ред.) та ін.]. – К. : ВД «Авіцена», 2011. – С. 160–170.
2. Ежегодник ГЭП: Обзор изменений состояния окружающей среды – 2007. – ЮНЕП, 2007. – 86 с.
3. Лук'янець В. С. Наука і гуманітарія. Взаємний вплив /В.С. Лук'янець // Природознавство і гуманітарія. Пошуки взаєморозуміння: [монографія]. – К. : ПАРАПАН, 2009. – С. 3.
4. Степин В. С. Научное познание и ценности техногенной цивилизации / В.С. Степин // Вопросы философии. – 1989. – № 10. – С. 3–19.
5. Черникова И.В. Типология науки в контексте современной философии науки / И.В. Черникова // Вопросы философии. – 2011. – № – 11. – С. 71–77.
6. Anklam E. Connecting Science and Policy to Support Innovation and Nanotechnology Acceptance among Consumers Polish Presidency Conference [Електрон.ресурс] / Е. Anklam //– Режим доступу: http://www.nanoethics2011.pan.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=12.
7. Bensaude-Vincent B. Two Cultures of Nanotechnologies / B. Bensaude-Vincent // Nanotechnology Challenges: Implications for Philosophy, Ethics and Society. – 2005. – P. 7–28.
8. Moor J. Nanoethics: Assessing the Nanoscale from an Ethical Point of View / J. Moor, J. Wecker // Discovering the Nanoscale. – Eds. Davis Baird, Alfred Nordmann & Joachim Schummer: IOS Press, Amsterdam, 3rd print, 2004. – P. 301–310.
9. Ragulia A. Nanoscience, Nanotechnologies, Materials and New Production Technologies, NMP / A. Ragulia // Ukraine Science and Technology Landscape. – Kyiv, 2011. – P. 28–41.
10. Schummer J. Identifying ethical issues of nanotechnologies / J. Schummer // Nanotechnologies, ethics and politics. – UNESCO, 2007– P. 79–98.
11. Schummer J. The Popularisation of Emerging Technologies through Ethics From Nanotechnology to Synthetic Biology / J. Schummer // Spontaneous Generations 2:1. – University of Toronto. – P. 56–62.
12. The National Nanotechnology Initiative: Research and Development Leading to a Revolution in Technology and Industry (Supplement to the President's FY's 2008 Budget). – Arlington : NNCO, 2007. – 48 p.

РЕЗЮМЕ

Т. В. Гардашук. Нанотехнологии и наноэтика: вопросы дефиниции.

В статье рассмотрены особенности развития нанотехнологий как приоритетного направления научно-технического прогресса, а также

этические рефлексии над этим процессом, описываемые понятием «наноэтика». Направленность дискуссий относительно этических аспектов развития нанотехнологий зависит от определения нанотехнологий. Наноэтика не может сводиться к «этике опасности», но должна непрерывно отслеживать и анализировать новые ситуации, возникающие вследствие развития нанотехнологий.

Ключевые слова: *нано, нанонаука, нанотехнология, наноэтика, постнеклассическая наука.*

SUMMARY

T. V. Gardashuk. *Nanotechnologies and Nanoethics: Questions Definition.*

The features of development of nanotechnologies as a priority direction of the scientific and technical progress, as well as ethical reflections on this process described by the notion “nanoethics” are considered in the article. The focus of discussions about ethical aspects of nanotechnologies depends on definition of nanotechnologies. Nanoethics should not be reduced to the “disaster ethics”, but nanoethics should constantly monitor and analyze new situations, arising from the development of nanotechnologies.

Key words: *nano, nanoscience, nanotechnology, nanoetyka, postnonclassical science.*