

НАНОТЕХНОЛОГІЯ ТА ПІДГОТОВКА СУЧАСНОГО ІНЖЕНЕРА У СВІТЛІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРИНЦИПІВ І ЗАВДАНЬ БОЛОНСЬКОГО ПРОЦЕСУ

Малишев В. В., Габ А. І.

ВСТУП

Сьогодні світова спільнота живе в очікуванні чергового технологічного прориву, пов'язаного з розвитком і вивченням технології з вищим ступенем застосування перспективних наукових розробок. Основні надії при цьому пов'язані з нанотехнологією, яка оперує структурами із розмірами порядку нанометра.

Нанотехнології ще перебувають на стадії початкового розвитку, проте вже зараз можливостей існуючих технологій досить, щоб створити з декількох молекул деякі прості механізми. Вони, керуючись сигналами, що надходять ззовні (акустичними, електромагнітними тощо), зможуть маніпулювати іншими молекулами і створювати собі подібні пристрої або складніші механізми. Ті ж своєю чергою зможуть виготовити ще складніші пристрої і так далі. Врешті-решт цей експоненційний процес приведе до створення молекулярних роботів – механізмів, порівняних за розмірами із великою молекулою, що мають власний убудований комп'ютер. У виготовленні таких нанокомп'ютерів немає нічого фантастичного, активні електронні елементи таких розмірів уже отримані в лабораторних умовах^{1,2,3}.

Природно, що в очікуванні певних надій, пов'язаних із застосуванням принципово нового підходу до технології, світові інвестиції в цю галузь постійно збільшуються. Слід відмітити, що

¹ Фейнман Р.Ф. Внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики. *Российский химический журнал*. 2002. Т. 46, № 5. С. 4-6.

² Бучаченко А.Л. Нанохимия – прямой путь к высоким технологиям нового века. *Успехи химии*. 2003. Т. 72, № 5. С. 419-437. <https://doi.org/10.1070/RC2003v072n05ABEH000795>

³ Таланчук П., Малишев В. Становлення й розвиток нанотехнологій у світі і в Україні: використання інтелектуального капіталу, тенденції розвитку. *Університет «Україна»*. 2009. № 10-11. С. 3-4.

останніми роками створено понад 16 000 «нанокмпаній», і їх кількість постійно зростає. На це ще накладається розчарування, пов'язане з бумом у розвитку компаній в галузі інформаційних технологій, які стрімко розвивалися в 90-і роки, лавиноподібно нарощуючи рівень капіталізації, а потім багато хто з них зазнав краху. Разом з цим розробки в галузі наноматеріалів, наноінструментів, наноелектроніки і нанобіотехнології вже починають приносити комерційну віддачу.

Провідні країни світу давно оцінили інноваційний потенціал нанотехнологій і створили відповідні національні програми. На частку США нині припадає приблизно третина всіх світових інвестицій у нанотехнології. Інші головні гравці на цьому полі – Європейський Союз (приблизно 15%) і Японія (20%). Дослідження в цій сфері активно ведуться також у країнах колишнього СРСР, Австралії, Канаді, Китаї, Південній Кореї, Ізраїлі, Сінгапурі і Тайвані. Проте Україна в цьому напрямі значно відстає від технологічно розвинених країн, причому відставання має не технологічний, а інтелектуальний характер. Дійсно, налагодження виробництва шляхом залучення зарубіжних інвестицій і створення нових підприємств не вирішує проблем у розвитку суспільства, зводячи країну просто до джерела дешевої робочої сили. Необхідно насамперед розвивати освіту в цій галузі, підвищувати рівень підготовки інженерних кадрів, чим завжди славилася наша країна. Через це підготовка інженерних кадрів повинна кардинально якісно змінитися⁴.

1. Використання нанотехнологій і наноматеріалів – один із визначальних чинників наукового, економічного й оборонного розвитку держав

Зараз практично у всіх сучасних вищих навчальних закладах викладають курс нанотехнології. Природно, що це відбувається і в Україні, проте відчувається якась невизначеність у виборі матеріалу і в побудові лекційного процесу. Для цього можна запропонувати наступну програму курсу цієї дисципліни, призначеного, швидше, для студентів спеціальностей, пов'язаних з електронікою. Проте, на

⁴ Таланчук П., Малишев В., Липова Л. Освіта ХХІ століття. Само-визначення особистості в контексті інтеграції України до Європейського інтелектуального простору. *Освіта регіону. Політологія, психологія, комунікації*. 2009. № 3. С. 206–213.

нашу думку, знайомство з основними поняттями нанотехнології повинне увійти до арсеналу інженера будь-якої спеціальності. Відразу зазначимо, що програма курсу наразі має рекомендаційний характер і повинна ще зазнати кардинальних змін і переробок.

Отже, основне завдання полягає в тому, щоб студенти після закінчення курсу були в змозі розуміти і сприймати такі поняття: особливості провідності в наномасштабах, техніка виробництва нанопристроїв, методика використання нанотехнологічних пристроїв. Для цього достатньо 12 основних лекцій з тем:

- 1) основні величини і масштаби в наногалузі;
- 2) технологія виробництва і експериментального дослідження;
- 3) елементи квантової механіки і статистичної фізики;
- 4) тунелювання;
- 5) одноелектронний транзистор;
- 6) напівпровідникові наноструктури на поверхні;
- 7) елементи теорії провідності в нанопристроях;
- 8) одновимірні провідники;
- 9) квантування опору, квантовий точковий контакт;
- 10) вуглецеві нанотрубки;
- 11) елементи квантової теорії інформації і квантові комп'ютери;
- 12) біонаноелектроніка.

Природно, що такі широкі питання неможливо викласти в лекційному курсі, тому особлива увага має приділятися самостійній роботі і проведенню консультацій. Разом з цим важливо, щоб конспективно лекційний курс містився на сторінці лектора в мережі. З іншого боку, сьогодні в Інтернеті вже так багато лекційних курсів та інформації з нанотехнологій, що проблеми, вирішенню яких якраз і служить цей лекційний курс, будуть лише у виборі матеріалу.

Слід зазначити, що останнім часом спостерігається певна тенденція щодо зниження вартості експериментального й технологічного устаткування. Іншими словами, не потрібно багато грошей, щоб купити, наприклад, установку з тунельної мікроскопії або з епітаксії за простою методикою. Тому головне – знати, що треба і можна зробити в цій галузі. З іншого боку, тут навіть найменший результат привертає велику увагу – це, по суті, і визначається назвою «нанотехнологія».

За багатьма прогнозами розвиток нанотехнологій визначить обличчя XXI століття. Оскільки нанонауки не є спеціальною галуззю знань, дослідження в нанорозмірній галузі ведуться й у

фізиці, і в хімії, і в біології. А ще частіше – на стику наук. Важливі нанопроєкти мають міжгалузевий характер і вимагають нових організаційних підходів для їх реалізації та відповідної підготовки кадрів.

Нанонаука зародилась на стику фізики конденсованих систем, неорганічної та фізичної хімії, біохімії, електроніки і є інтегративною наукою типу кібернетики. Вона відображає сучасну, притаманну насамперед електроніці, тенденцію до мініатюризації та визначає межі зменшення структурних одиниць різноманітних пристроїв. У певному сенсі нанонаука є своєрідним містком між атомно-молекулярним та колоїдно-дисперсним рівнями матеріальних об'єктів^{5,6}.

У аспекті виготовлення та використання нанорозмірних об'єктів нанотехнологію можна розглядати як процес створення і використання матеріалів нанорозмірного масштабу на рівні груп атомів, молекул і надмолекулярних структур. Наноструктури, виготовлені з таких «будівельних» блоків, є найменшими об'єктами, створеними людиною.

Нанометровий діапазон вимірів розмірами 1–100 нм відкриває нові властивості й підходи до вивчення речовини. В цьому діапазоні кардинально змінюється чимало фізичних та хімічних властивостей. В ньому так, як ніде, близько сходяться фізика, хімія й біологія та слід очікувати на появу нових явищ і ефектів, нових фундаментальних принципів, які геніально прогнозував лауреат Нобелівської премії в галузі фізики Р. Фейнман ще в 1959 р.

Необхідно відмітити, що нанометрові об'єкти добре відомі ще з позаминулого і минулого століть, як, наприклад, колоїди чи гетерогенні каталізатори, які включають наночастинки на поверхні носіїв. Однак в останнє десятиріччя ХХ століття окреслилися такі поняття, як нанокластер, наноструктура і пов'язані з ними явища, та виділилися в окрему галузь фізико-хімії. Це сталося головним чином внаслідок значного прогресу в отриманні й дослідженні наноб'єктів, появи нових наноматеріалів, нанотехнологій і нанопристроїв. Синтезовані нові гігантські нанокластери ряду металів, фулерени і вуглецеві нанотрубки, чимало наноструктур на їх основі та на базі

⁵ Рыбалкина М. Нанотехнологии для всех. Nanotechnology News Network, 2005. 444 с.

⁶ Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. Москва, Academia, 2005. 192 с.

супрамолекулярних гібридних органічних та неорганічних полімерів тощо. Досягнуто помітного прогресу у методах спостереження – вивчення властивостей нанокластерів і наноструктур, пов'язаного з розвитком тунельної і сканувальної мікроскопії, рентгенівських та оптичних методів з використанням синхротронного випромінювання, оптичної лазерної, радіочастотної, мессбауерівської спектроскопії тощо. Отже, предмет фізико-хімії нанокластерів має включати способи отримання нанокластерів і наноструктур, їх властивості та використання у вигляді наноматеріалів, що мають вихід на нанотехнологію.

Серед основних складників науки про наноматеріали й нанотехнології можна виділити такі⁷:

- фундаментальні дослідження властивостей матеріалів на наномасштабному рівні;
- розвиток нанотехнологій як для цілеспрямованого створення наноматеріалів, так і для пошуку та використання природних об'єктів з наноструктурними елементами;
- створення готових виробів із використанням наноматеріалів та інтеграція наноматеріалів і нанотехнологій у різні галузі промисловості та науки;
- розвиток засобів і методів дослідження структури та властивостей наноматеріалів, а також методів контролю й атестації виробів і напівфабрикатів для нанотехнологій.

Початок XXI століття ознаменувався революційним початком розвитку нанотехнологій та наноматеріалів. Вони вже використовуються у всіх розвинених країнах світу у найбільш значущих сферах людської діяльності (промисловості, обороні, інформаційній сфері, радіоелектроніці, енергетиці, транспорті, біотехнології, медицині). Аналіз зростання інвестицій, кількості публікацій з даної тематики і темпів впровадження фундаментальних та пошукових розробок дозволяє зробити висновок про те, що в найближчі 20 років використання нанотехнологій і наноматеріалів буде одним із визначальних чинників наукового, економічного та оборонного розвитку держав. За багатьма прогнозами саме розвиток нанотехнологій визначить обличчя XXI століття, подібно до того, як

⁷ Балоян Б.М., Колмаков А.Г., Алымов М.И., Кротов. А.М. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения. Москва, Международный университет природы, общества и человека «Дубна», 2007. 125 с.

відкриття атомної енергії, винахід лазера і транзистора визначили обличчя XX століття. А деякі експерти навіть передбачають, що XXI століття буде століттям нанотехнологій (за аналогією з тим, як XIX століття називали століттям пари, а XX століття – століттям атома і комп'ютера).

Досягнення в розробці та виготовленні наноструктур найбільшою мірою визначаються рівнем розвитку технологій, які дають змогу з атомною точністю отримувати наноструктури необхідної конфігурації та розмірності, а також методів комплексної діагностики властивостей наноструктур, включаючи контроль у процесі виготовлення (*in situ*) і керування на його основі технологічними процесами. Важливі наукові й технічні досягнення, що ґрунтуються на розумінні й керуванні процесами на рівні атомів і молекул – нанорівні, – здійснюються в лабораторіях усього світу. Наприклад, можливість керувати синтезом матеріалів на нанорозмірному рівні вже зараз дає змогу створювати нові наноматеріали з поліпшеними властивостями. Новизна наноматеріалів виходить з того, що зі зменшенням розмірів структурних елементів вони набувають принципово нових властивостей. У віддаленій перспективі нанотехнології приречені на ще більш революційні досягнення з можливим впливом практично на всі галузі промисловості, включаючи енергетику, охорону здоров'я, оборону, транспорт і електроніку. Надаючи матеріалам та системам принципово нових якостей, нанотехнології забезпечують прогрес практично в усіх існуючих галузях техніки та промисловості. І це справді так, тому що нанотехнології керують структурою матерії на атомарному рівні, тобто на рівні, загальному для всього живого й неживого. Сьогодні вони є основою більшості інноваційних рішень у всіх сферах людської діяльності. Чи йдеться про генетику, клонування, бактерії або мікроорганізми, чи про нові матеріали для автомобілебудування, продукти і галузі металургії – скрізь і всюди інноваційні рішення так чи інакше пов'язані з нанотехнологіями. Ця інтегративна роль нанотехнологій висуває їх на одне з перших місць у сфері критичних технологій, без розвитку яких сьогодні жодна держава світу не може претендувати на конкурентний

технологічний розвиток і створення своєї інтелектуальної власності у сфері науки й технологій⁸.

На жаль, сучасна система націлена на формування вузькоспеціалізованих «гвинтиків» застарілого механізму, а не на гармонійно розвинених людей, які самостійно мислять. Нерідко можна зустріти людину, що прекрасно розбирається, наприклад, у комп'ютерній техніці та програмуванні, але при цьому зовсім незнайома з досягненнями сучасної хімії, біології або навпаки.

Яскравим прикладом міждисциплінарного мислення, що досягло видатних результатів у різних галузях науки й мистецтва, був геній Леонардо да Вінчі. Його не можна називати лише вченим, лише художником, лише архітектором або лише інженером. Леонардо да Вінчі своїм прикладом показав можливість плідного поєднання різних знань і вмій в одній людині, що б там не стверджували адепти «вузькоспеціалізованого підходу».

До речі, якщо говорити про зв'язок нанотехнологій з фундаментальними науками, то можна сказати, що практично будь-який предмет з тих, що вивчаються в школі, так чи інакше буде пов'язаний з технологіями майбутнього. Найочевидніше прогнозується зв'язок «нано» з фізикою, хімією та біологією. Очевидно, саме ці науки одержать найбільший поштовх до розвитку у зв'язку із нанотехнологічною революцією, що наближається. Але не тільки вони. Без розвитку інформаційних систем (особливо таких галузей інформатики, як штучний інтелект, комп'ютерне моделювання, робототехніка тощо), фундаментальною базою яких є математичний апарат, неможливі проєктування й створення пристроїв наноелектроніки.

2. Бізнес в галузі нанотехнологій

Досягнення в розробці та виготовленні наноструктур найбільшою мірою визначаються рівнем розвитку технологій, які дають змогу з атомною точністю отримувати наноструктури необхідної конфігурації та розмірності, а також методів комплексної діагностики властивостей наноструктур, включаючи контроль у процесі виготовлення (*in situ*) і управління на його основі технологічними процесами. За багатьма прогнозами, саме

⁸ Третьяков Ю.Д., Гудилин Е.А. Основные направления фундаментальных и ориентированных исследований в области наноматериалов. *Успехи химии*. 2009. Т. 78, № 9. С. 867-888. <https://doi.org/10.1070/RC2009v078n09ABEH004029>

розвиток нанотехнологій визначить обличчя XXI століття, подібно до того, як відкриття атомної енергії, винахід лазера і транзистора визначили обличчя XX століття^{9,10}.

Сьогодні у вітчизняній наногалузі потрібно не працювати або робити кар'єру, а створювати бізнес. Якщо ви будете чекати поки хтось дасть вам робочі місця, то можете не дочекатися цього ніколи. Сьогодні наноіндустрії потрібні люди, які здатні не тільки на неймовірні відкриття, але й уміють виготовляти продукцію, а також реалізовувати її на ринках, долаючи всі можливі перешкоди. Що значить робити бізнес? Це означає придумати щось нове, потім це щось виготовити, а після цього продати. Так ось, придумати нелегко, зробити ще важче, але найважче – продати.

2.1. Інвестиції

Інвестиції – це насправді не що інше, як вкладення. Для розвитку будь-якого бізнесу потрібні вкладення: грошей, часу, здібностей – з метою їх подальшого примноження. Останнім часом усе більше далекоглядних підприємців, які розуміють перспективність та економічну вигоду нанотехнологій, вважають за краще вкладати кошти у високотехнологічні проекти. Обсяг інвестицій у нанотехнології у США за різними оцінками становить на сьогодні від 50 до 60% від всіх світових інвестицій. На Україну ж припадає менше 0.5% світових «наноінвестицій». І цільова державна програма підтримки нанотехнологій взагалі тільки народжується.

2.2. Прибутковість і ризик

Необхідно зрозуміти і прийняти як належне одну просту істину: дохід від інвестицій можна отримати, лише прийнявши на себе певний ризик. У будь-якому бізнесі чим більший прибуток ви хочете отримати, тим на більший ризик вам доведеться йти. Є бізнеси стійкі, зі зрозумілими правилами гри, зрозумілими продуктами і зрозумілими ринками збуту. Для них заздалегідь відомі дані віддачі на вкладений капітал, і зазвичай вона невелика, оскільки добра прогнозованість цього бізнесу приваблює велику

⁹ Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологии. Учебное пособие. Москва, «Бином. Лаборатория знаний», 2008. 431 с.

¹⁰ Головин Ю.И. Введение в нанотехнологию. Москва, «Машиностроение-1», 2003. 112 с.

кількість конкурентів. До такого роду бізнесу належать, наприклад, автозаправні станції або продаж електроенергії. Тут можливі збитки в окремі несприятливі періоди, проте щодо загальної величини вкладеного капіталу вони невеликі.

З іншого боку, є ризиковані бізнеси, які пов'язані з розробкою і просуванням на ринки нових продуктів. Розробка їх вимагає часу та грошей, і тому заздалегідь передбачити, чи вийде розробити справді хороший продукт і чи буде він потім прийнятий споживачами, дуже складно. Ризик невдачі такого бізнесу дуже великий – аж до повної втрати інвестованого капіталу. Проте, якщо поталанить, можна виявитися першим і єдиним виробником гостро затребуваного продукту і за рахунок цього одержувати протягом певного часу дуже високі прибутки. Щоб наздогнати вас, конкурентам доведеться затратити чимало часу і ресурсів.

У бізнесі прибутковість і ризик йдуть пліч-о-пліч, існують одночасно. Ризик – це те, на що доводиться йти, якщо хочеш досягти поставленої мети, але багато хто виявляється до нього просто психологічно не готовим. Якщо інвестиції у банківські вклади мають передбачуваний результат, то про нанотехнологічні проекти цього сказати не можна, оскільки життєві повороти практично непередбачувані. Будь-який підприємець підтвердить, що до 96% свого часу він витрачає на боротьбу з «ризиками», що виникли – різними неузгодженостями, збоями та неочікуваними ускладненнями. Тому, щоб вкладати гроші у непередбачуване, треба постаратися все непередбачуване прорахувати. За словами однієї мудрої людини, «той, хто не вчиться передбачати і запобігати ризикам, ризикує сам виявитися ризик-фактором, відлякує партнерів, інвесторів і, звичайно ж, гроші».

Кількість ризиків пропорційна кількості взаємозв'язків проекту з навколишнім середовищем. Постачальники можуть продати погану сировину, партнери можуть підвести, покупцям може не сподобатися товар, податкова теж тут як тут ... Загалом, чим автономніший проєкт, тим він надійніший.

За різними даними, десять років тому в нашій країні частка успішних бізнес-проектів серед усіх початківців складала 5–10%. Сьогодні цей показник становить менше 0,5%. Саме така ймовірність того, що час, сили і гроші, вкладені в проєкт, повернуться з прибутком. Отже, заняття бізнесом в Україні, особливо нанотехнологічним, не для людей зі слабкими нервами.

2.3. Конкуренція

Конкуренція – це конфліктне суперництво за досягнення кращих умов існування, функціонування та розвитку. Якщо сьогодні ваша продукція затребувана ринком, то не факт, що завтра хтось не зробить те ж саме, але дешевше і якісніше. Тому, щоб бути успішним у бізнесі, потрібно не тільки створити і вести його, а й безперервно розвивати свої конкурентні переваги:

– *науково-технічні переваги* (якість наукових досліджень, можливість розробки та виробництва нових товарів, ступінь оволодіння існуючими технологіями);

– *виробничі переваги* (низькі витрати на виробництво продукції, якість продукції, повнота використання можливого устаткування, вигідне місцезнаходження з точки зору транспортування, доступ до кваліфікованої робочої сили, висока продуктивність праці, можливості виробництва різної продукції, виконання замовлень споживачів);

– *торгові переваги* (широка мережа збуту, доступ покупців до товару, наявність власних магазинів, низькі витрати на продаж, швидка доставка);

– *маркетингові переваги* (висока кваліфікація співробітників відділу продажів, технічна підтримка, акуратне використання замовлень, різноманітність продукції, мистецтво продажів, привабливі дизайн і упаковка, гарантії);

– *професійні переваги* (особливий талант, ноу-хау, компетентність, уміння створювати ефективну рекламу, здатність швидко переводити товари зі стадії розробки в промислове виробництво);

– *організаційні переваги* (рівень інформаційних систем, здатність швидко реагувати на змінювані ситуації, досвід);

– *інші переваги* (сприятливий імідж і репутація, низькі витрати, вигідне розташування, приємні в спілкуванні та доброзичливі співробітники, доступ на фінансові ринки, правова захищеність) тощо.

Коли на ринку багато конкурентів, кожному з них дістається не так уже й багато прибутку, тому єдиний спосіб зробити бізнес недефективним – це позбутися конкуренції та стати монополістом. Маємо на увазі видатний винахід – те, чого ще ніхто, крім вас, не вміє робити. Поки що конкуренти розвідують, як це вам вдається, ви зможете зробити новий винахід, і вас уже не наздогнати. Білл Гейтс так і зробив – він просто винайшов DOS в той час, коли ніхто про це не

замислювався. А коли успіх DOS привабив безліч конкурентів, він винайшов Windows і став найбагатшою людиною в світі.

Не забувайте про те, що поки ви керуєте своїм бізнесом, ваші конкурентні переваги – винаходи, спроможності, талант – працюють на вас. Як тільки ви продали їх чужій компанії, ви стаєте найманим працівником – пролетарем. Коли вони розберуться у вашому винаході, ви станете їм не потрібні і втратите свої переваги. Такий закон природного відбору.

2.4. Інформація

Доходи від інвестицій прямо пропорційні якості інформації, якою ви володієте. Недарма Білл Гейтс сказав, що в новому світі успіху досягне той, хто навчиться правильно поводитися з інформацією, а вже він на цій справі розуміється як ніхто інший. Якщо ви знаєте, акції якої компанії виростуть у ціні, а які впадуть, ви можете миттєво заробляти купу грошей, однак, щоб отримати таку інформацію, потрібно досконально знати все, що діється в кожній компанії. Як отримати бажану інформацію, щоб вигідно інвестувати свої гроші і час? Основою дорогоцінного знання є розвідка. Розвідка та ще раз розвідка – зрозуміло, у рамках закону. Наноіндустрія має таку кількість взаємозв'язків, що досить просто відкрити очі і «нагострити вуха», щоб дізнатися про все необхідне, і навіть понад те при цьому інформація може потрапити до вас у руки різними шляхами:

- моніторинг ЗМІ, що належать до потрібної галузі;
- шляхом розвитку контактів з експертами та аналітиками;
- через співробітництво з колегами та інвесторами;
- за допомогою вивчення зразків продукції конкурентів;
- за допомогою оперативної роботи та з інших джерел.

2.5. Економіка

Беручи до уваги все вищесказане, сформулюємо основні принципи майбутньої наноеконіміки:

– *великий обсяг знань дозволяє створювати ефективніші машини.* Чим більше ви знаєте, тим кращі продукти ви можете створити. До винаходу двигуна внутрішнього згоряння не було літаків, а до відкриття тунельного ефекту не могло відбутися дослідження вірусу тютюнової мозаїки (ВТМ).

– *створення ефективніших інструментів відкриває можливість створення ще ефективніших інструментів у більшій кількості.*

В біологічній еволюції поява ДНК дозволила «експериментувати» з білковими структурами набагато швидше й ефективніше. Також як винахід комп'ютерів і засобів комп'ютерного моделювання (CAD) дозволило багаторазово прискорити і спростити розробку нових машин.

– чим швидші комп'ютери і чим їх більше, тим швидше робляться відкриття і розробляються ефективніші машини. Згадаймо історію з розшифровкою генома людини або програми наномоделювання, можливості яких прямо залежать від продуктивності комп'ютерів.

– автоматизація та роботизація дозволяє виробляти ефективніші продукти швидше, дешевше і в більшій кількості. Уявімо собі ручне виробництво сотень мільйонів компакт-дисків або хоча б однієї нанотрубки.

Таким чином, кожна конкурентна перевага допомагає в розвитку всіх інших конкурентних переваг і, навпаки, кожна слабкість відбивається на інших сторонах бізнесу. У результаті розриву між державами, компаніями і людьми, що розвиваються з різною швидкістю, зростає більше, ніж сьогодні, розрив між людьми та тваринами. *Отже, ера нанотехнологій показує, хто на що здатний. Діючи швидко та з розумом, в ній можна заробити мільярди, а лінуючись і безтурботно попиваючи пиво, водночас стати неандертальцем.*

2.6. Проектування бізнесу

Зростання популярності нанотехнологій серед населення в поєднанні зі споконвічним прагненням до «халяви» привертає багато неграмотних і просто нечесних людей. Нанотехнології здаються їм такою собі скатертиною-самобранкою, за допомогою якої можна збагатитися за ніч. Інвестори вже по вуха закидані нісенітницею типу «вічних двигунів, що черпають енергію з наносвіту» й «оздоровчих брелоків магнітних і нанотехнологій». Так нехай же ваш проєкт буде для них ковтком свіжого повітря.

2.7. Оцінка технології

Спочатку важливо правильно оцінити винахід, який ви хочете зробити основою майбутнього бізнесу. Це найважливіший крок – від нього залежить успішність усього проєкту. Справді вартісний винахід – це те, що збільшує корисний ефект продукту в десятки й сотні разів без істотного погіршення інших показників. Через

швидкоплинність технологічних змін у галузі на найвитонченіший винахід може швидко знайти вдосконалений замітник, а то й зовсім виявиться непотрібним у результаті розвитку конкурентів. Тому непогано мати уявлення про інформацію і планування чужих розробок, активістів, конкурентів, наукові статті тощо. Для цього суть винаходу розбивається на маленькі компоненти. Серед них виділяються ключові складові «ноу-хау» і вони повинні бути безумовно новими, унікальними і через ті чи інші причини важкодоступними для конкурентів.

В Україні через низький рівень розвитку законодавчого регулювання відносин у сфері інтелектуальної власності новинка часто належним чином не оформлюється, але від цього нікуди не зникає, а продовжує бути присутньою в тому чи іншому вигляді та зберігає свою цінність для підприємства, а також для конкурентів, які постараяться її роздобути. Тут ефект українського патентування, не підкріпленого міжнародним, швидше негативний, оскільки змушує заявника розкрити багато деталей технології. У результаті вітчизняний розробник найчастіше дізнається про повний економічний потенціал своєї технології вже у вигляді продукту конкурента на прилавку.

Одне з рішень цієї проблеми запропонував ще 500 років тому геніальний вчений Леонардо да Вінчі. Ситуація із захистом інтелектуальної власності в середньовічній Італії була приблизно такою самою, як у сучасній Україні, тож, побоюючись, що проекти машин будуть вкрадені й реалізовані без його відома – тобто без сплати гонорару, – винахідник навмисно вносив у свої креслення невеликі помилки. Наприклад, уже тоді він розробив проєкт «танка» – трохи схожу на черепаху машину. Але якщо побудувати її з використанням вихідних креслень, вона не зможе рухатися: шестерінки будуть просто блокувати одна одну. Сучасні інженери, які заради цікавості будують моделі за проєктами Леонардо, без особливих зусиль знаходять помилку у кресленнях да Вінчі, й машина справді рухається. Але це легко зробити за сучасного розвитку науки, а для техніків часів Відродження такий захист був непосильним завданням.

2.8. Оцінка ринку

Зазвичай самі творці інновації не до кінця уявляють собі властивості отриманого продукту внаслідок нестачі часу і грошей на детальні дослідження. Тому необхідне дослідження самого

отриманого продукту, оскільки без знання властивостей новинки (найчастіше досить неочікуваних) ризик здійснення маркетингової помилки близький до 100%. Це нормально й допоможе згодом грамотно організувати постійне вдосконалення продукту відповідно до потреб клієнтів. Чим більше унікальних, корисних і чудових властивостей ви відкриєте і вивчите в продукті, тим ширшим буде його ринок і менше надійде скарг. Важливою особливістю нанотехнології як галузі є її багатогранність та безліч несподіваних напрямів застосування продуктів і технологій. Тому наявність хоча б декількох партнерських нанотехнологічних виробництв під час системного аналізу потенційних програм їх розробок дозволяє досягти чималої економії за рахунок синергетичного ефекту. Синергетичний (системний) ефект – це збільшення сумарної ефективності двох процесів під час їх спільної роботи.

Ніхто не стане купувати товари тільки тому, що вони «нано», скоріше навпаки: почувши це, клієнт згадає будь-яку статтю про шкоду фулеренів для мишей, а «нанотехнологічність» продукції зацікавить хіба що митника, але ж це не той інтерес, якого ви хочете. Ви повинні пам'ятати, що чим натхненніше ви ставитесь до проєкту, тим більша ймовірність наявності в ньому помилок, ризиків, протиріч, на які не звернули уваги. *Найретельніше слід перевіряти правильність суджень, які здаються нам очевидними.*

Щоб продукт приніс прибуток, він повинен мати високий попит, тобто бути клієнторієнтованим. У діалозі з потенційним споживачем переконайтеся, що пропонуєте рішення його проблем, а не просто технологічну «заморочку».

Насправді існують два види нанопродукції. Одні продукти являють собою вдосконалення звичайних товарів – довговічніші м'ячі, легші і міцніші ракетки, незатуплювані ножі та свердла, надпотужні батарейки, компактніші дисплеї тощо. Вони мають стійкі ринки, і ви завжди знаєте, хто буде покупцем і як просувати продукцію. З іншого боку, тут вам протидіють величезні конкуренти, що працюють у цій галузі десятиліттями (а деякі – навіть століттями).

Інші – не мають аналогів на ринку. Самоочисні покриття, нанотрубки, антибактеріальні наночастинки і сканувальні мікроскопи мало схожі на все, що було раніше, і тому, з одного боку, не завжди зрозуміло, кому і як їх запропонувати, а з іншого – ви самі створюєте новий ринок, на якому поки що нікого немає

(якщо, звичайно, ви дієте досить швидко і охороняєте секрети своєї новинки).

2.9. Розробка проєкту

Вивчивши всі аспекти майбутнього бізнесу, постарайтеся оцінити спектр можливих сценаріїв розвитку подій і, відповідно, розподіл імовірності доходів і ризиків. Після цього починається найбільш творча частина – розробка проєктної стратегії. А точніше, системи стратегій, варіанти яких обмежені лише вашою винахідливістю і діловою етикою. Це може бути як просте кредитування, так і складна система операцій зі злиття, поглинання, передачі технологій, створення спільних підприємств тощо. Кожна стратегія має систему сценаріїв, за якими можуть розвиватися події (якщо якийсь параметр контролюєте ви, то його варіації породжують різні стратегії, якщо його контролюють сили, вам не підвладні, то його варіації породжують різні сценарії). Суть завдання в тому, щоб на кожен сценарій, яким повернеться до вас доля, ви мали свою ефективну стратегію. Зрозуміло, різні стратегії і сценарії виявляються хитрим чином переплетеними. Планування нанобізнесу – справа непростя.

2.10. Здійснення проєкту

Після того, як інвестиційне рішення прийнято, інвестор найімовірніше доручить вам виконання розробленої вами стратегії. При цьому активність вашого управління проєктом може варіюватися від тихого спостереження до будівництва наукограду, зміни місцевої адміністрації та колової оборони до спроб західних і східних конкурентів прикрити ваш проєкт. Однак цьому неможливо навчити лише за книгами, як і плаванню або бойовому мистецтву. Можна лише розпочати й навчитися самому.

Як бачимо, нанотехнології в Україні, всупереч усьому, все-таки набирають ходу. Їх розвиток дасть нашій країні єдиний шанс повернутися в число світових лідерів у науковій, економічній і політичній сферах, а також вирішити багато економічних, територіальних і демографічних проблем.

ВИСНОВКИ

Провідними країнами світу визначено інноваційний потенціал нанотехнологій і створено відповідні національні програми. Відставання України в цій галузі має не технологічний,

а інтелектуальний характер. Насамперед необхідно розвивати освіту в цій галузі, підвищувати рівень підготовки інженерних кадрів.

Основними тематиками сучасних програм і курсів з нанотехнологій є такі: основні величини і масштаби в наногалузі; технологія виробництва і експериментального дослідження; елементи квантової механіки і статистичної фізики; тунелювання; одноелектронний транзистор; напівпровідникові наноструктури на поверхні; елементи теорії провідності в нанопристроях; одновимірні провідники; квантування опору, квантовий точковий контакт; вуглецеві нанотрубки; елементи квантової теорії інформації і квантові комп'ютери; біонаноелектроніка.

Дослідження в нанорозмірній галузі ведуться практично в усіх фундаментальних науках, а точніше – на стику наук. Усі важливі нанопроєкти мають міжгалузевий характер і вимагають нових організаційних підходів для їх реалізації та відповідної підготовки кадрів.

Основними складниками науки про наноматеріали й нанотехнології є: фундаментальні дослідження властивостей матеріалів на наномасштабному рівні; розвиток нанотехнологій як для цілеспрямованого створення наноматеріалів, так і для пошуку та використання природних об'єктів з наноструктурними елементами; створення готових виробів із використанням наноматеріалів та інтеграція наноматеріалів і нанотехнологій у різні галузі промисловості та науки; розвиток засобів і методів дослідження структури та властивостей наноматеріалів, а також методів контролю й атестації виробів і напівфабрикатів для нанотехнологій. Досягнення в розробці та виготовленні наноструктур найбільшою мірою визначаються рівнем розвитку технологій, які дають змогу з атомною точністю отримувати наноструктури необхідної конфігурації та розмірності, а також методів комплексної діагностики властивостей наноструктур.

Підкреслено важливість економічних питань у розвитку галузі нанотехнологій, а саме: розгортання бізнесу, інвестування, співвідношення прибутковості та ризику, визначення конкурентного середовища. Підкреслено, що доходи від інвестицій прямо пропорційні якості інформації. Сформульовано основні принципи майбутньої наноекономіки. Показано можливість попередньої оцінки технології та ринку її споживачів. Надано рекомендації щодо розробки та реалізації проєктів у галузі нанотехнологій.

АНОТАЦІЯ

Досліджено шляхи розвитку нанотехнології та підготовки сучасного інженера в світлі реалізації принципів і завдань Болонського процесу. Запропонована програма курсу нанотехнологій для студентів інженерних спеціальностей. Виокремлено основні складники науки про наноматеріали й нанотехнології. Розглянуто проблеми формування бізнесу, інвестицій, прибутковості та ризику, конкуренції, інформації, економіки, проектування бізнесу, оцінки технологій в галузі виробництва наноматеріалів. Зроблено оцінку ринку нанотехнологій. Надано рекомендації щодо розробки та реалізації проектів у цій галузі. Розглянуто використання нанотехнологій і наноматеріалів як один із визначальних чинників наукового, економічного й оборонного розвитку держав.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фейнман Р.Ф. Внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики. *Российский химический журнал*. 2002. Т. 46, № 5. С. 4–6.
2. Бучаченко А.Л. Нанохимия – прямой путь к высоким технологиям нового века. *Успехи химии*. 2003. Т. 72, № 5. С. 419–437. URL: <https://doi.org/10.1070/RC2003v072n05ABEH000795>.
3. Таланчук П., Малишев В. Становлення й розвиток нанотехнологій у світі і в Україні: використання інтелектуального капіталу, тенденції розвитку. *Університет «Україна»*. 2009. № 10–11. С. 3–4.
4. Таланчук П., Малишев В., Липова Л. Освіта ХХІ століття. Самовизначення особистості в контексті інтеграції України до Європейського інтелектуального простору. *Освіта регіону. Політологія, психологія, комунікації*. 2009. № 3. С. 206–213.
5. Рыбалкина М. Нанотехнологии для всех. *Nanotechnology News Network*, 2005. 444 с.
6. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. *Наноструктурные материалы*. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. Москва, Academia, 2005. 192 с.
7. Балоян Б.М., Колмаков А.Г., Алымов М.И., Кротов. А.М. *Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения*. Москва, Международный университет природы, общества и человека «Дубна», 2007. 125 с.

8. Третьяков Ю.Д., Гудилин Е.А. Основные направления фундаментальных и ориентированных исследований в области наноматериалов. *Успехи химии*. 2009. Т. 78, № 9. С. 867–888. URL: <https://doi.org/10.1070/RC2009v078n09ABEH004029>.

9. Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологии. Учебное пособие. Москва, «Бином. Лаборатория знаний», 2008. 431 с.

10. Головин Ю.И. Введение в нанотехнологию. Москва, «Машиностроение-1», 2003. 112 с.

Information about authors:

Malyshev V. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Director of Institute of Engineering & Technology
Open International University of Human Development “Ukraine”
23, Lvivska St., Kyiv, 03115, Ukraine

Gab A. I.,

Ph.D., Associated Professor,
Associated Professor of the Department
of Modern Engineering and Nanotechnologies
Open International University of Human Development “Ukraine”
23, Lvivska St., Kyiv, 03115, Ukraine