

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН

УДК 378.147.31; 621.3.083.98

ПРОБЛЕМИ ВИКЛАДАННЯ НАНОМЕТРОЛОГІЇ В УНІВЕРСИТЕТАХ

О.В. Полярус, проф., д.т.н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація На підставі аналізу стану розвитку метрологічного забезпечення нанотехнологій визначені основні проблеми підготовки технічних фахівців у вищій школі. Обґрунтовані пропозиції щодо викладання нанометрології в технічних та інших університетах.

Ключові слова: нанотехнології, нанометрологія, нановимірювання, нановиробництво, метрологічне забезпечення, квантовий еталон.

ПРОБЛЕМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ НАНОМЕТРОЛОГИИ В УНИВЕРСИТЕТАХ

А.В. Полярус, проф., д.т.н.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Анотация. На основе анализа состояния развития метрологического обеспечения нанотехнологий определены основные проблемы подготовки технических специалистов в высшей школе. Обоснованы предложения по преподаванию нанометрологии в технических и других университетах.

Ключевые слова: нанотехнологии, нанометрология, наноизмерения, нанопроизводство, метрологическое обеспечение, квантовый эталон.

THE PROBLEMS OF NANOMETROLOGY TEACHING IN UNIVERSITIES

A. Poliarus, Prof., D. Sc. (Eng.),
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. The main problems of technical specialists training in higher school have been analyzed on the base of analysis of the state of metrological support development for nanotechnologies. The proposals for nanometrology teaching in technical and other universities are considered.

Key words: nanotechnology, nanometrology, nanomeasuring, nanofabrication, metrological support, quantum standard.

Вступ

Бурхливий розвиток нанотехнологій розпочався 20–30 років тому спочатку в США, Японії, Німеччині, Франції, а потім в інших розвинутих країнах. Результати, що були отримані в наукових дослідженнях, почали впроваджуватись практично в усі галузі про-

мисловості, медицини, сільського господарства, транспорту, побуту тощо. Для того щоб розробляти нанотехнології, необхідно здійснювати вимірювання параметрів наноб'єктів, тобто об'єктів, які не можна побачити неозброєним оком. Для цього потрібна нова метрологія – нанометрологія, яка присвячена вимірюванню невидимих для ока

об'єктів. Практично в кожній із зазначених вище країн або в окремій групі країн функціонують наукові метрологічні організації, в яких пріоритетним напрямом є розвиток нанометрології. Отже, для того щоб бути розвинутою країною, необхідно підтримувати розвиток нанотехнологій, які неможливі без розвитку нанометрології.

Аналіз публікацій

Починаючи з 1992 р., в Бразилії кількість патентів, статей, що індексовані в базі даних Scopus і присвячені нанотехнологіям збільшилася в десятки разів і продовжує збільшуватися за експоненціальним законом [1]. У [2] показано, що у 2008 р. нанотехнологіями займалися фахівці 152 країн, але 90 % усіх публікацій припадало на 15 країн. Найбільша кількість статей (23 %) була опублікована в США, 22 % – у Китаї, 8 % – у Німеччині та Японії, ще менше (декілька відсотків) – в Ізраїлі, Нідерландах та Швейцарії. 2016 р. ситуація значно змінилася [3]: на перше місце вийшов Китай (34 %), друге місце в США (16 %) і третє місце посіла Індія (8 %). Україна не входить до першої двадцятки за цим показником, але до неї ввійшли наші сусіди (Росія, Польща, Туреччина). Одноразово в окремих країнах, що зазначені в цьому рейтингу (Іран, Саудівська Аравія, Сінгапур та Індія) частка статей, які присвячені нанотехнологіям, від усіх наукових праць становить близько 20 %, що свідчить про пріоритетний розвиток цих технологій у зазначених країнах. Усе це потребує відповідних темпів підготовки фахівців з нанотехнологій і нерозривно пов'язаної з ними нанометрології.

Мета і постановка завдання

Метою статті є аналіз раціональних підходів до організації викладання нанометрології в технічних університетах. Частина викладачів взагалі заперечують необхідність викладання нанометрології. Їх основними аргументами є відсутність робочих місць на підприємствах, що займаються нанотехнологіями, слабка матеріальна база навчання та відсутність добре підготовлених викладачів. Отже, виникає завдання обґрунтування важливості нанометрології для навчання технічних фахівців та оцінки можливостей університетів щодо реалізації цієї ідеї прийнятними методичними підходами.

Аналіз гальмуючих факторів

Дійсно, якість навчання залежить від трьох основних факторів – рівня підготовки викладачів, загального рівня знань і цілеспрямованості студентів та наявності матеріально-технічної бази. На жаль, поки що всі три фактори свідчать не на користь викладання нанометрології. Викладач повинен мати необхідний рівень знань квантової фізики, хімії, точної механіки, електродинаміки, оптики та метрології. Він повинен цікавитися сучасними досягненнями у сфері нанотехнологій та суміжних галузях. Багато нобелівських лауреатів з фізики та хімії за останні десятиріччя працювали або працюють в галузі нановимірювань. Отже, першою причиною, що ускладнює активний розвиток метрології в університетах України, є вузьке коло фахівців серед викладачів, що здатні викладати цю дисципліну без додаткової підготовки. Підвищення кваліфікації викладачів на спеціалізованих курсах в інститутах метрології або в окремих університетах могло б частково вирішити цю проблему.

Рівень знань студентів у галузі фізики та хімії також на цей час не є високим. Однак, зацікавленість багатьох студентів нанотехнологіями, як показав досвід роботи автора, дає надію, що студенти можуть оволодіти знаннями нанометрології хоча б на понятійному рівні. Це дозволить їм у майбутньому приймати виважені рішення щодо впровадження нанотехнологій у високотехнологічне виробництво.

Ще однією причиною, яка гальмує впровадження нанометрології в навчальний процес, є відсутність можливостей отримання високого рівня практичної підготовки студентів з нанометрології. Рівень навчально-матеріальної бази багатьох технічних університетів у галузі нановимірювань є невисоким. Значна частина квантових еталонів відсутня навіть в інститутах метрології. Усе це не є, однак, підставою для вилучення нанометрології з навчальних планів. Студенти можуть проводити окремі вимірювання в нанометровому діапазоні безпосередньо в університетах, на промислових підприємствах та в метрологічних організаціях. Крім того, у майбутньому хороша навчально-матеріальна база університетів в галузі нанометрології може бути створена за дуже короткий час за наявності фінансування. Якщо не займатися наномет-

рологією зараз, то в майбутньому після отримання відповідної технічної бази університети будуть вимушені запрошувати фахівців із-за кордону.

Особливості нанометрології як навчальної дисципліни

На відміну від традиційної метрології (ТМ), нанометрологія (НМ) має істотні особливості: – методи ТМ є непридатними або можуть бути обмежено застосовані в діапазоні вимірювання розмірів об'єктів від 1 до 100 нм з невизначеністю 0,1 нм;

– у НМ використовуються багато фізичних явищ, які потребують поглиблених знань студентів з квантової фізики, фізичної хімії та інших наук;

– у НМ відсутньо багато стандартів, що узгоджують нові досягнення в галузі нанотехнологій з реальними вимірювальними технологіями;

– НМ потребує принципово нового вимірювального обладнання, вартість якого іноді значно перевищує вартість засобів вимірювання для ТМ; підвищуються також вимоги до умов зберігання та обслуговування зазначеного обладнання;

– державні перевірочні схеми для передачі розмірів одиниці довжини від державного еталону до робочих засобів вимірювання в нанодіпазоні ще тільки починають розвиватися; як зазначено в [4], більшість вимірювальних засобів у цьому діапазоні є поза сферою метрологічного обслуговування й не забезпечено засобами калібрування та повірки.

Важливість нанометрології обумовлена також тим, що розвинуте індустріальне суспільство поступово перетворюється в постіндустріальне, де реальним продуктом стає інформація. Обґрунтуємо це на прикладі еталонів. Традиційні еталони є реальними об'єктами, які зберігаються в особливих умовах. Прикладом таких еталонів є еталон метра та еталон кілограма. Для нановимірювань традиційні еталони є малопридатними й поступово замінюються на квантові еталони. Одиниці вимірювань останніх у майбутньому можуть передаватися споживачу, наприклад, у мережі Internet. Такі кардинальні зміни в метрологічному забезпеченні вимірювань потребують змін у методиці викладання відповідних навчальних дисциплін. Звідси впливає необхідність частішого оновлення методичних документів згідно з останніми

досягненнями в галузі нанотехнологій та нанометрології.

З одного боку, підготовка студентів потребує значних витрат на навчально-матеріальну базу кафедр, а з іншого боку, в інформаційному суспільстві проведення багатьох практичних та лабораторних робіт може здійснюватися з використанням інформаційних продуктів, які з навчальною метою можуть бути легко отримані. У таких умовах зростає роль математичного моделювання процесу вимірювання електронних мікроскопів, інтерферометрів тощо. Цей напрям тільки починає розвиватися в нанометрології. На основі моделювання можна оцінити роль різних факторів, що впливають на процес вимірювання.

Якісна підготовка в галузі нанотехнологій і нанометрології потребує не тільки істотної перебудови системи освіти в технічних університетах, але й шкільного і навіть дошкільного навчання. Філософія вимірювання невидимого та отримання на основі цього видимих результатів повинна впроваджуватися зі шкільної партії. Прикладів застосування нанотехнологій у житті дуже багато, а це стимулює молодь на ознайомлення з ними, незважаючи на майбутній вибір професії молоді людини. Звідси виникає необхідність підготовки вихователів та вчителів з основ нанотехнологій.

Методичні підходи до викладання нанометрології

У процесі проведення занять з нанометрології виникає велика кількість проблемних питань, які з навчальною метою можуть розв'язуватися студентами. Зокрема, це вимірювання і контроль діапазону (за різними параметрами), в якому можуть істотно змінюватися характеристики нанопристроїв. За цією проблемою виникає наступна – вибір методу вимірювання, наприклад, з використанням сканувального зондового мікроскопа чи інтерференційних методів. Для проведення вибору потрібно мати глибоке розуміння фізичних процесів, на якому ґрунтується вимірювання. Студента треба навчити методиці вибору умов вимірювання – у процесі виробництва чи в автономному режимі (окремо від виробництва). Одночасно важливо оцінити вплив зовнішніх факторів (температури, вібрацій тощо). На відміну від методів традиційної метрології, в нанометрології потрібні

оцінювання теоретичних та комп'ютерних обмежень квантових методів, наприклад, квантової когерентності чи спітроніки.

Крім того, у процесі проведення нановимірювань зростає роль математичних моделей, упровадження 3D-вимірювань і багатомасштабних вимірювальних систем. Широке впровадження повинно знайти комплексування вимірювачів, що побудовані на різних фізичних принципах. Ще одним з важливих напрямів нанометрології є дешифрація зображень, що формуються електронними мікроскопами, зокрема, отримання 3D-інформації з 2D-зображень [5]. Багато проблемних питань ще мають неоднозначне тлумачення в науці.

Широке застосування нанопристроїв потребує розроблення фізичних інтерфейсів, які забезпечують узгодження вхідних та вихідних вузлів пристроїв із зовсім несхожими елементами схемотехніки чи біологічними або іншими системами. У цьому випадку повинен забезпечуватися необхідний обсяг і швидкість передачі та прийому вимірювальної чи іншої інформації. Розвиток генетики й комбінаторної хімії привів до синтезу нових біомолекул, що починають використовуватися в наноз'єднаннях твердої та м'якої матерії. Необхідна якість такого з'єднання (або наноінтерфейсу) забезпечується у проведенні відповідних нановимірювань. Студенти на практичних прикладах повинні усвідомити роль вимірювань у процесі створення зазначених з'єднань, які широко використовуються в нановиробництві.

Для успішного функціонування нанотехнологій за аналогією з провідними країнами в цій галузі необхідно створювати нанотехнологічні інфраструктури на основі метрологічних інститутів, підприємств, що займаються нановиробництвом, та відповідних технічних університетів. Це спростить студентам доступ до матеріально-технічної бази нанометрології. Значна увага повинна приділятися міждисциплінарним дослідженням вітчизняних учених. Важливим чинником є встановлення тісних наукових та навчальних зв'язків з країнами, в яких активно розвиваються нанотехнології.

У процесі метрологічного забезпечення нановиробництва та експлуатації засобів нановимірювань і наносистем особлива увага повинна приділятися метрологічній простежу-

ваності й методам досягнення заданої невизначеності вимірювань. У цьому випадку повинні оцінюватися умови вимірювань, наприклад, надвисокий вакуум або наднизькі температури, потреба в нових засобах вимірювання і наноматеріалах, довжина ланцюга метрологічної простежуваності тощо. Кінцевим результатом повинна бути стандартизація вимог за наносистемами з точки зору нормативних обмежень. Такі операції значно розширюють метрологічний кругозір студента й об'єднують знання різних навчальних дисциплін.

Дуже важливе місце в державі повинна зайняти нанобезпека, тобто забезпечення безпеки людей, загрозою для яких є результати навмисного й ненавмисного впровадження нанотехнологій. Звідси виникає необхідність створення метрологічних постів, де будуть здійснюватися нановимірювання, наприклад, з метою запобігання використанню небажаних наноматеріалів. Таких постів ще немає, але студенти повинні бути ідейно готовими до їх створення в майбутньому, що моделюється на заняттях і в наукових дослідженнях.

Висновки

Інтенсивний розвиток нанотехнологій у світі потребує фахівців з глибокими знаннями нанометрології. Для підготовки викладацького складу повинні розвиватися курси підвищення кваліфікації на базі інститутів метрології та технічних університетів, що мають відповідну навчально-матеріальну базу.

На відміну від традиційної метрології нанометрологія має суттєві особливості, що обумовлені використанням коштовних вимірювальних засобів, робота яких ґрунтується на принципах квантової фізики та інших наук. Одночасно нині не вистачає багатьох стандартів, державних повірочних схем та квантових еталонів.

Якісна підготовка студентів у галузі нанотехнологій потребує істотного реформування системи підготовки фахівців в університетах, середніх школах та дитячих садках.

Під час проведення нановимірювань зростає роль математичних моделей процесів та засобів вимірювання. Значна частина вимірювальних процесів може бути продемонстро-

вана на віртуальних системах, що значно зменшує вартість підготовки фахівців.

У розділах навчальних дисциплін з охорони праці та безпеки життєдіяльності повинні з'явитися питання нанобезпеки в умовах застосування нанотехнологій.

Література

1. Ana Rusmerg Giménez Ledesma Nanometrology, Standartization and Regulation of Nanomaterials in Brazil: a Proposal for an Analytical-Prospective Model / Ana Rusmerg Giménez Ledesma, Maria Fatima Ludovico de Almeida // Journal of Technology Management & Innovation. – 2013. – Vol. 8, Special Issue ALTEC. – P. 39–52.
2. Россия занимает 12-е место по научным статьям в сфере нанотехнологий // РИА Наука, 2010. – Режим доступа: <https://ria.ru/science/20101201/303294650.html>.
3. Ranking of Countries in Nanotechnology Publications in 2016. // StatNano, 2017. 01.04. Available at: <http://statnano.com/news/57105>.
4. Неежмаков К.П. Перспективы развития нанометрологии в Украине с использованием растровых электронных микроскопов / К.П. Неежмаков // Системы обработки інформації: зб. наук. праць. – 2011. – Вип. 6 (96). – С. 181–184.
5. European_Nanometrology. Precision Engineering and Nanotechnology: Conference at delft university. – Netherland, 2010. – Available at: <https://www.researchgate.net/publication/283151542>.

Рецензент: М.А. Подригало, професор, д.т.н., ХНАДУ.
