

ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ З НАНОМАТЕРІАЛАМИ

*Скоробогатько О. С., студентка (гр. БТ-41, ФБТ КПІ ім. Ігоря Сікорського);
Гусєв А. М., к.б.н., доцент (каф. ОПЦБ КПІ ім. Ігоря Сікорського)*

Вступ. Ненормоване використання пестицидів та добрив викликає забруднення навколишнього середовища, накопичення в сільськогосподарських ґрунтах пестицидів та патогенів, а також втрату біорізноманіття. Нанотехнології, що використовують наноматеріали, мають потенційні агро-біотехнологічні програми для полегшення цих проблем.

Основними перевагами використання нанотехнологій у рослинних та ґрунтових системах є здатність наноматеріалів сприяти:

- контролюваному випуску агрохімікатів для збагачення рослин корисними речовинами та їх захисту від шкідників та патогенів;
- точній доставці генетичного матеріалу при розробці генетично-інженерних штамів;
- чутливому виявленню хвороб рослин та забруднюючих речовин;
- захисту та формуванню ґрунтових структур.

Наприклад, пористий кремнезем (15 нм) і наночастинки з біологічно розщепленими полімерними хітозанами (78 нм) показали повільне вивільнення інкапсульованого пестициду та добрив, відповідно. Даний підхід забезпечує рівномірний розподіл діючих речовин, що знижує ризики негативної їх дії на промислово цінні рослини. Нанорозмірне золото (5-25 нм) здатне доставляти ДНК до клітин рослин з високою точністю, а наносенсори на основі оксиду заліза (30 нм) виявляють присутність пестицидів за декілька хвилин, що дає можливість підвищити позитивний вплив допоміжних наноматеріалів на ріст та розвиток рослин. Це сприяє розвитку точного землеробства шляхом мінімізації забруднення та максимізації ефективності сільськогосподарської практики [1].

З іншого боку, інженерні наноматеріали ставлять багато нових питань про оцінку ризиків, на яких досі немає відповідей. На сьогоднішній день існують добровільні ініціативи з оцінки промислової небезпеки, які можна вважати життєво важливими щодо питань охорони праці та безпеки навколишнього середовища, пов'язаних з інженерними наноматеріалами. У даній роботі досліджено основні характеристики наноматеріалів, особливості їхнього виготовлення і використання, а також можливі ризики для розробників та інженерів, які працюють у даному напрямку.

Предметом дослідження аналіз можливого шкідливого впливу наноматеріалів в умовах наукових лабораторій.

Мета дослідження. Розглянути вимоги охорони праці, а також інші фактори, що впливають на ефективність та безпеку роботи персоналу лабораторій.

Аналіз публікацій. Можливість негативного впливу наноматеріалів на здоров'я людини та навколишнє середовище є спірним питанням і ряд публікацій було присвячено особливостям роботи з даними речовинами.

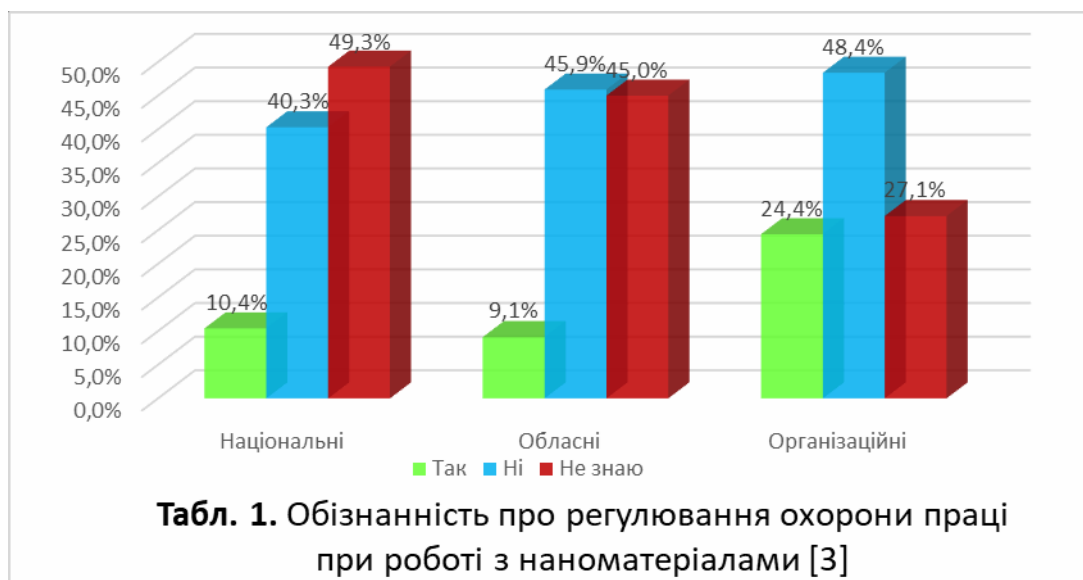
Зазвичай, дослідникам, що працюють з наночастками рекомендується використовувати засоби лабораторного захисту (наприклад, впровадження бар'єрів навколо небезпечного джерела, щоб запобігти його розповсюдженню) або HEPA (High Efficiency Particulate Air – високоефективне втримування часток), та засоби індивідуального захисту (такі як відповідні респіратори, маски для обличчя та рукавички).

Нижче наведено результати опитування інженерів європейських біотехнологічних компаній щодо правил безпеки, що застосовуються в лабораторіях щодо поводження з наноматеріалами. Так, лише 10% дослідників, які працюють з наноматеріалами використовують нанозахисні капюшони, і кожен четвертий не користується жодними засобами лабораторного захисту.

Знаючи про можливість потрапляння наночасток до повітряного пилу, а згодом і до легень, що підвищує ризик розвитку локальних захворювань, близько 30% дослідників не використовує жодних додаткових засобів захисту органів дихання (користуються стандартними, що розроблені для роботи з високомолекулярними речовинами). Крім того, більша частина дослідницьких лабораторій позбавляються від відпрацьованих наноматеріалів так само, як від інших хімікатів. Жодних додаткових дій для утилізації наноречовин не проводиться взагалі [2].

При опитуванні вчених, інженерів та інших людей з різних частин світу, робота яких безпосередньо пов'язана з наночастками, про їх обізнаність щодо регулювання роботи з наноматеріалами на національних, обласних та організаційних рівнях, було отримано досить невтішні дані. Близько 90% учасників статистичного дослідження або не були ознайомлені з правилами, обмеженнями та вимогами, що стосуються роботи з наночастинками, або не думали, що такі існують (Табл. 1.).

Більш того, майже три чверті опитаних повідомили, що їхні організації не мають внутрішніх правил, що стосуються поводження з наноречовинами. З наноматеріалів, що використовуються у сучасній промисловості, найпоширенішими є неорганічні матеріали (42,2%) та нанотрубки на основі вуглецю (31,9%). Основною небезпекою використання новітніх підходів на основі наночастинок є недослідженість їх тривалої дії на людський організм та недостатньою пристосованістю сучасного обладнання для повного захисту організму працівників від потрапляння наночастинок [3].



Основні результати дослідження. Практика охорони праці та безпеки навколишнього середовища у багатьох дослідницьких лабораторіях по всьому світу не враховує важливих аспектів даного напрямку наукової роботи через ряд причин. По-перше, токсичність наноматеріалів не є простою для дослідження, оскільки вона залежить від багатьох факторів, включаючи розмір, площа поверхні, хімічний склад, форма, агрегація, поверхневе покриття та розчинність.

Крім того, більшість опублікованих досліджень підкреслює гостру токсичність і смертність, а не хронічний прояв та захворюваність, що свідчить про досить агресивну біологічну дію наночастинок. Але публікації, що надали таку інформацію, мають деякі недоліки, оскільки дослідження проводилися на тваринах використовуючи досить високі концентрації найпоширеніших наночастинок впродовж короткого проміжку часу. У випадку інженерів, що працюють з наноматеріалами, вплив останніх досить тривалий, а концентрація частинок, що потрапляють до організму коливається, залежно від оснащення лабораторії та особливостей роботи працівника[4, 5]. Тому така експериментальна інформація не може бути прийнятою за основу для розробки загальноприйнятих правил поведінки з наноматеріалами.

Незважаючи на те, що були зроблені спроби створити міжнародні стандарти для управління ризиками наноматеріалів, досі відсутні широко прийняті обмеження на роботу з наноматеріалами на рівні стандартів роботи з токсичними органічними та неорганічними речовинами. Саме тому, немає загально визнаного еталону, що може бути використаний для встановлення правил безпеки для роботи з наноматеріалами [6].

Найбільшу небезпеку становлять наночастинки при їх вдиханні (особливо це стосується частинок з аеродинамічним діаметром 100 нм). Першими реакціями організму можуть бути запалення легенів, окислювальний стрес, і пошкодження органів, що пов'язані з дихальною системою (оскільки наночастинки потрапляють у кровотік).

Схожий вплив на організм людей мають кварц, мінеральні частинки пилу (наприклад, вугілля та силікати), азбестові волокна, що викликають окислювальні травми, запалення, фіброз, цитотоксичність.

Малий розмір, велика площа поверхні та здатність генерувати активні форми кисневмісних сполук є, з одного боку, промислово цінними характеристиками, з іншого, фізико-хімічними властивостями, що надають високу біоактивність навіть інертним у звичайному стані речовинам.

Підходи безпеки та охорони праці. Для більшості процесів та робочих завдань контроль над переходами наноаерозолів у повітря здійснюється за допомогою широкого спектру методів технічного контролю, що разом з ідентифікацією також забезпечують захист виробничих приміщень. Одними з основних засобів забезпечення контролю і очищення є витяжні шафи з потужними системами вентиляції, призначені саме для ефективного видалення наночасток.

У наукових нанотехнологічних центрах мають бути продумані шляхи ізоляції працівників від небезпечних операцій, процесів, обладнання або середовищ за допомогою дотримання безпечної відстані, фізичного відокремлення, бар'єрів, контрольних приміщень, ізоляційних блоків, закритих систем або контейнерів (наприклад, герметичні реактори, закриті контейнери або посудини, корпуси насосів, коробок для рукавичок) і ефективної роботи вентиляції.

Поведінка наночастинок сильно відрізняється залежно від розмірів та ступеня агрегації. Повітряно-агломераційні наночастинки поведуться так само, як і гази, що дозволяє швидко розповсюджуватись на великі відстані. З цієї причини системи інженерного контролю, такі як бар'єрування та вентиляція, повинні бути розроблені відповідно до газоподібних і молекулярних властивостей наночастинок. Тому на заключній стадії фільтрації рекомендується використання вологого скрубберування або електростатичного осадження. Принцип захоплення, що включає електростатичне притягання, особливо ефективний для дуже дрібних частинок.

Захисний одяг, який є необхідною вимогою для хімічної лабораторії має включати наступні засоби (нижче наведено базовий список, який повинен корегуватися залежно від особливостей проекту):

- закриті туфлі з низькопроникного матеріалу;
- довгі штани без манжет, сорочка з довгими рукавами;
- рукавички типу рукавиці або нітрилові рукавички з розширеними рукавами;
- хімічні бризказахисні окуляри та лабораторні халати.

Стандартні випробування показали, що неткані тканини, такі як поліетиленові текстильні матеріали високої щільності, видалися набагато ефективнішим проти проникнення наночастинок. Таким чином, рекомендується уникати використання захисного одягу з бавовняних тканин.

Дифузійні тести з наночастинками показали, що наночастинки можуть проникати через комерційно доступні рукавички. Виявлено, що матеріал

рукавичок не є єдиним критерієм, і процес розробки та товщина також є основними проблемами. Внаслідок цього рекомендується використовувати принаймні два шари рукавичок.

Використання респіраторів часто вимагається, коли інженерні та адміністративні контролю не забезпечують повного захисту працівників від забрудненого повітря і контакту з наночастинками, що перевищує регуляторну межу або ціль внутрішнього контролю. За останніх 5 років значно підвищилися вимоги до знешкодження відходів нанотехнологічного виробництва, але ризик неповного елімінування шкідливих компонентів з навколишнього середовища лишається [7].

Висновки. Незважаючи на значний прорив в промисловості, медицині та сільському господарстві завдяки використанню наночасток, необхідним є проведення досліджень з метою встановлення впливу наночасток на організм людини при постійному контакті з наноматеріалами. Доцільно також запуснути програми з розробки та широкого впровадження ультра чутливих витяжних шаф та інших засобів захисту працівників нанотехнологічних лабораторій. Станом на сьогодні, впроваджено велику кількість вимог та інструкцій щодо ведення нанотехнологічних проєктів, але досі невідкладною задачею світової спільноти є встановлення загально прийнятих міжнародних стандартів щодо поводження з наноматеріалами.

Література

1. Ghormade, V., Deshpande, M. V., & Paknikar, K. M. (2011). Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnology advances*, 29(6), 792-803.
2. Helland, A., Scheringer, M., Siegrist, M., Kastenholz, H. G., Wiek, A., & Scholz, R. W. (2007). Risk assessment of engineered nanomaterials: a survey of industrial approaches. *Environmental Science & Technology*, 42(2), 640-646.
3. Balas, F., Arruebo, M., Urrutia, J., & Santamaria, J. (2010). Reported nanosafety practices in research laboratories worldwide. *Nature Nanotechnology*, 5(2), 93-96.
4. Nel, A., Xia, T., Mädler, L., & Li, N. (2006). Toxic potential of materials at the nanolevel. *science*, 311(5761), 622-627.
5. Ostrowski, A. D., Martin, T., Conti, J., Hurt, I., & Harthorn, B. H. (2009). Nanotoxicology: characterizing the scientific literature, 2000–2007. *Journal of Nanoparticle Research*, 11(2), 251-257.
6. Balas, F., Arruebo, M., Urrutia, J., & Santamaria, J. (2010). Reported nanosafety practices in research laboratories worldwide. *Nature Nanotechnology*, 5(2), 93-96.
7. Amoabediny, G. H., Naderi, A., Malakootikhah, J., Koohi, M. K., Mortazavi, S. A., Naderi, M., & Rashedi, H. (2009). Guidelines for safe handling, use and disposal of nanoparticles. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 170, No. 1, p. 012037). IOP Publishing.