

ефективності плану, виконати оптимальний для центру план виробництва (Ω^* , β^*).

Висновки і напрямки подальших досліджень. Отже, при автоматизації процесів керування гірничо-збагачувальним комбінатом як організаційно-технічною системою необхідно враховувати багатоцільовий характер системи пріоритетів центру керування і рудозбагачувальної фабрики як агента даної системи. Подальші дослідження доцільно проводити у напрямку пошуку методу розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації та формування критеріїв ефективності інших технологічних підрозділів гірничого підприємства як агентів організаційно-технічної системи.

Список літератури

1. Пивень В. А. Исследование влияния колеблемости качественных параметров рудопотоков карьера на эффективность обогащения железных руд / В. А. Пивень, А. В. Романенко, В. В. Шепель, И. К. Младецкий, В. В. Панченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2007. – №2. – С. 67-71.
2. Мorkун В. С. Ультразвуковой контроль характеристик измельченных материалов и адаптивное управление процессами измельчения-классификации руд на его базе: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.07 / Мorkун Владимир Станиславович. – Кривой Рог, 1998. – 309 с.
3. Поркуян О. В. Керування нелінійними динамічними об'єктами збагачувальних виробництв на основі гібридних моделей Гамерштейна / О. В. Поркуян: Автореф. дис докт. техн. наук. – Кривий Ріг, 2009. – 36 с.
4. Купін А. І. Узгоджене інтелектуальне керування стадіями технологічного процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах невизначеності: дис. ... доктора техн. наук: 05.13.07 / Купін Андрій Іванович. – Кривий Ріг, 2009. – 463 с.
5. Бурков В. Н. Основы математической теории активных систем / В. Н. Бурков. – М.: Наука, 1977. – 255 с.
6. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. – М.: МПСИ, 2005. – 584 с.
7. Новиков Д. А. Курс теории активных систем / Д. А. Новиков, С. Н. Петраков. – М.: СИНТЕГ, 1999. – 104 с.
8. Луценко И. А. Оптимальное управление технологическими процессами многопродуктовой переработки сырья по критерию эффективности использования ресурсов: дис. ... доктора техн. наук: 05.13.07 / Луценко Игорь Анатольевич. – Кривой Рог, 2007. – 491 с.
9. Вилкул Ю. Г. Определение параметров горных предприятий на основе их эколого-экономических показателей: дис. ... докт. техн. наук : 05.15.03, 05.26.01 / Вилкул Юрий Григорьевич. – Кривой Рог, 1994. – 417 с.
10. Тронь В. В. Енергоефективне автоматизоване керування процесом збагачення руди з термографічним розпізнаванням її технологічних різновидів : дис. ... кандидата техн. наук : 05.13.07 / Тронь Віталій Валерійович. – Кривий Ріг, 2013. – 226 с.
11. Xiaoling Huang. Production Process Management System for Production Indices Optimization of Mineral Processing / Xiaoling Huang, Yangang Chu, Yi Hu, Tianyou Chai // *IFAC – Research Center of Automation, Northeastern University, Shenyang, P.R.China 110004*. – 2005.
12. Morkun V. Automation of iron ore raw materials beneficiation with the operational recognition of its varieties in process streams / V. Morkun, V. Tron // *Metallurgical and Mining Industry*, 2014, No6, pp. 4-7: http://www.metaljournal.com.ua/assets/MMI_2014_6/1-MorkunTron.pdf

Рукопис подано до редакції 22.03.15

УДК 331.436

Н.Ю. ШВАГЕР*, д-р техн. наук проф., Т.А. КОМІСАРЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
М.О. ТЕУС, студент, Криворізький національний університет

НАНОМАТЕРІАЛИ: НОВИЙ ВИКЛИК ДЛЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ НА ВИРОБНИЦТВІ

За останній час широкого розвитку набуло застосування нанотехнологій у виробництві широкого кола виробів та матеріалів, що підвищує їх якість, довговічність та інші споживні властивості, але розвиток виробництва продукції з використанням наноматеріалів створює нову загрозу для працівників задіяних у нових галузях виробництва. Таким чином, необхідність визначати імовірні ризики, що можуть бути викликаними впливом на працюючих наноматеріалів є актуальною та важливою науково-технічною задачею. Аналіз впливу наночастинок на працюючих дозволить запропонувати запобіжні заходи та профілактику ймовірних захворювань. Небезпека для здоров'я людей від наночастинок в забрудненому повітрі полягає в тому, що існує можливість виникнення респіраторних і серцево-судинних захворювань. Тому при використанні наночастинок передбачати заходи, що зменшують експозицію наночастинок працівників виробництв, такі як випуск продукції, що містить наночастинок, в формах, які не виділяють пил (пасти, гранули замість аерозолів і порошків) і в герметизованих упаковках та використовувати зволоження сировини і продукції, особливо при наявності джерел пиловиділення, а також автоматизувати і механізувати технологію виробництва, транспортування та фасування сировини, напівфабрикатів та продукції, що містить наноматеріали, з метою виключення безпосереднього контакту працівників із шкідливими та небезпечними виробничими чинниками.

Постановка проблеми та її зв'язок з науково-практичними задачами. Розвиток виробництва продукції з використанням наноматеріалів створює нову загрозу для працівників задіяних у нових галузях виробництва. Наноматеріали застосовуються для підвищення зносостійкості шестерень автомобілів, штоків амортизаторів, при виробництві нержавіючих труб, в якості присадок масел компресорів тощо. Таким чином, існує необхідність визначити імовірні ризики, що можуть бути викликаними впливом на працюючих наноматеріалів, та запропонувати запобіжні заходи та профілактику ймовірних захворювань.

Велика частина інновацій у секторі нанотехнологій базується на виробництві наноматеріалів, що мають специфічні властивості завдяки маленьким розмірам їх частинок [1]. Порівняно з матеріалами, що використовуються протягом десятиліть і поки продовжують домінувати на ринку, таких як технічний вуглець для виробництва гум та інших пластичних мас, багаточисельні нові наноматеріали використовуються в енергетичному секторі, електроніці, текстильному виробництві тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ця величезна кількість виготовлених наноматеріалів складає групу хімічних речовин, характеристики яких дуже різноманітні, таким чином, складно зробити оцінку потенційних ризиків. Їх інноваційний потенціал полягає в тому, що матеріал має певні властивості (механічні, електричні, оптичні, каталітичні тощо), які дуже відрізняються від матеріалів, з того ж хімічного складу, але складених з частинок більшого розміру. Ці властивості, пов'язані з поверхнею частинок, викликають питання щодо їх впливу на здоров'я. Особливо важко визначити точні межі між "нано" і "мікро" матеріалами (табл. 1).

Як вважається, що розміри, при яких проявляються нові або покращені властивості матеріалу, складають близько 100 нм.

Таблиця 1.

Порівняння геометричних розмірів матеріалів

	Приклад	Геометричний розмір
Наносвіт	Молекула ДНК	2 нм
Мікросвіт	Пил	800 нм
Макросвіт	Комаха	5 мм

Залежно від матеріалу нанооб'єкти можуть мати різні форми, найчастіше сферичну форму (наночастинки) або плоску з довжиною більшою за діаметр (нанотрубки, нановолокна) [2].

Ці нанооб'єкти рідко знаходяться ізольованими один від одного, але, як правило, вони об'єднуються в кластери, зовнішні розміри яких можуть легко досягати декількох тисяч нанометрів (кілька пікометрів) (рис. 1).

Стан агрегації варіюється залежно від конкретного виробничого процесу та навколишнього середовища, в якому знаходяться частинки (повітрі, біологічній рідині тощо).

На додаток до зовнішньої структури, наноматеріали можна також відрізнити хімічно.

Різні методи обробки, такі як покриття частинок полімерами або іншими молекулами можуть змінювати їх властивості, створивши більш складні матеріали (активні наноструктури, що можуть відповідати на зовнішні подразники, так звані наноматеріали другого покоління).

Будь-яка обробка може призвести до виникнення нового матеріалу, властивості якого істотно відрізняються від властивостей вихідного матеріалу.

У ряді досліджень, присвячених вивченню різних видів наноматеріалів (фулерен C₆₀, вуглецеві нанотрубки), було виявлено, що токсикологічний ефект пов'язаний з величиною дози по масі тіла, тобто чим вищою була доза, якій піддавалися лабораторні тварини, тим сильнішим спостерігався несприятливий ефект.

Однак результати проведених досліджень показують, що токсичність наночастинок залежить не тільки від співвідношення "доза/ маса тіла", але і можливо [3] від фізичних і хімічних властивостей, які зазвичай не враховуються у дослідженнях токсичності.

Які фактори визначають або впливають на небезпечні властивості наночастинок?

Це питання все ще залишається відкритим через загальну нестачу даних про характеристики протестованих наночастинок.

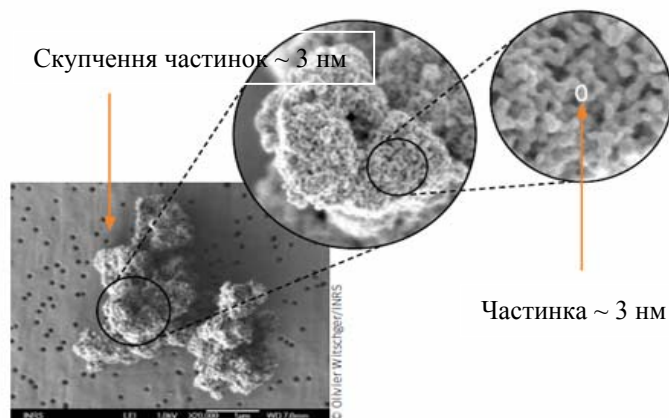


Рис. 1. Приклад скупчення частинок нанорозмірів

Нааявні токсикологічні дані недостатні для того, щоб визначити явний зв'язок від потенційних шкідливих ефектів наноматеріалів. Наночастки мають різну поведінку і велику біологічну сприйнятливості в порівнянні з мікрометричними частинками одного і того ж хімічного складу. Складність оцінки їх токсичності в першу чергу витікає з різноманітності матеріалів для вивчення багатьох параметрів, які ви-

значають їх взаємодію з біологічною системою.

Небезпека для здоров'я людей від ультрадисперсних частинок в забрудненому повітрі або при зварюванні давно відома. Епідеміологічні дослідження та випробування на людях в умовах контрольованого впливу передбачають, в тому числі можливість виникнення респіраторних і серцево-судинних захворювань. Ці дослідження були проведені на працівниках, що піддаються впливу технічного вуглецю і діоксиду титану, але складно зробити чіткі висновки, тому що, розмір частинок пилу варіюється в залежності від дослідження.

Отже, на сьогодні практично відсутні дослідження про вплив на здоров'я людини, яке розглядає специфічні ефекти наноматеріалів. Ці дослідження в даний час стикаються з цілою низкою проблем: недостатнє знання впливу, відсутність знань про початкові ефекти та складний доступ до виробництва [4].

Виклад основного матеріалу дослідження. На підставі викладеного можна сформулювати завдання дослідження, яке полягає в визначенні токсичності наноматеріалів, яка у свою чергу була предметом численних досліджень, але результати найчастіше важко інтерпретувати і порівнювати: дослідження на клітинних моделях в пробірці важко екстраполювати на людей, спосіб проникнення частинок у організм людини не є типовим (лише декілька досліджень проводяться з інгаляцією, хоча це найбільш типовий спосіб проникнення частинок для працівників), короткий період впливу, недостатнє знання характеристик наноматеріалів, що досліджуються.

Однак, ці дослідження показали, що на додаток до хімічної природи, що звичайно відіграє важливу роль, шкідливі ефекти наноматеріалів на молекулярному, клітинному та органічному рівнях обумовлені їх фізико-хімічними характеристиками.

Розмір і розподіл розміру часток, ступінь агрегування, їх здатність продукувати молекули окиснення, форма, поверхневі характеристики і розчинність в біологічних рідинах є критичними детермінантами їх токсичності.

Нанооб'єкти мають специфічні властивості поверхні (електричний заряд, пористість, кристалічна структура), які впливають на їх взаємодію з навколишнім середовищем.

Вони можуть адсорбувати на своїй поверхні макромолекули, що присутні в біологічних середовищах, які утворюють ліпідну корону, що впливає на їх здатність проникнення в клітини, проникнення біологічних бар'єрів, на розподіл часток в організмі та їх шкідливі наслідки (рис. 2).

Прогрес досліджень у цій області підкреслює, що окрім внутрішніх характеристик наноматеріалів, слід також брати до уваги біологічне оточення, в якому вони знаходяться, що ускладнює дослідження.

У робочому середовищі, вдихання і потрапляння на шкіру є основними можливими способами контамінації (зараження).

Перші роботи, що вивчають проникнення нерозчинних наноматеріалів (у тому числі діоксиду титану) через шкіру, показують що це малоімовірно, якщо роговий шар шкіри не пошкоджений.

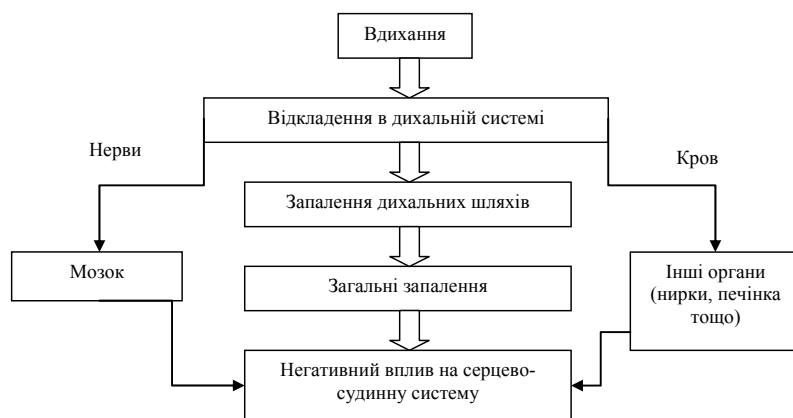


Рис. 2. Потенційні шкідливі ефекти від наночастинок при потраплянні в організм

більшій, ніж мікрометричні частинки. Більш дрібні частинки, в свою чергу, залишаються в основному в верхніх дихальних шляхах і, меншою мірою, в області трахеї і бронхів.

Розмір часток визначає місце їх осадження та ефективність легеневого кліренсу. В альвеолах, як правило, клітини макрофаги відповідальні за очищення погано розчинних або нерозчинних забруднюючих речовин завдяки механізму фагоцитозу. В той же час, здатність фагоцитозу макрофагів нижче для наночастинок в порівнянні з макрочастинками. Це може призвести до значного накопичення нанооб'єктів в альвеолах, які в свою чергу, можуть викликати запалення, що може привести до розвитку легеневих захворювань. Що стосується розчинних нанооб'єктів, вони можуть бути видалені повністю або частково завдяки процесу розчинення. Утворення розчинних іонів (наприклад, іони Zn^{2+} утворені наночасток оксиду цинку) може призвести до певних ефектів в легенях або інших органах при перенесенні іонів у кровоток. При повному розчиненні, негативні ефекти більш пов'язані з їх власною токсичністю ніж з нанорозміром частинок.

Крім того, дослідженнями [5] було показано, що наночастинок мають, в деяких випадках, здатність перетинати тканини бар'єри, що вважалися низько проникними. При вдиханні вони можуть перетнути альвеолярної стінки, переміститися до плеври, лімфатичних вузлів, до кровносної і лімфатичної систем і різних органів, таких як селезінка, печінка, серце, центральної нервової системи або до кісток. Деякі наноматеріали, такі як оксид марганцю або діоксин титану, що відкладаються у носовій порожнині, можуть мігрувати і накопичуватися в певних частинах мозку після перетину через гематоенцефалічний бар'єр. При однаковому хімічному складі і однаковій формі, зменшення розмірів частинок приводить до збільшення їх питомої площі поверхні, збільшуючи здатність взаємодіяти з навколишнім органічним середовищем. Дослідження показують, що при еквівалентній масі дози і однаковій кристалічній формі, така речовина як двоокис титану, що визнана малотоксичною, призводить набагато частіше до запальних явищ у легенях у нанометровій формі, ніж у мікрометровій.

Крім того, деякі наночастинок, зокрема оксидів металів, можуть виробляти активні форми кисню (так звані вільні радикали) на власній поверхні, або сприяти їх виробленню клітинами. Така ситуація може сприяти виникненню токсичних явищ.

Нарешті, незалежно від їх хімічної природи, форма нанооб'єктів є важливим чинником, що визначає біологічну активність. Декілька проведених досліджень в природних умовах [6] порівняли ефекти від дії наночасток діоксиду титану та вуглецю в волокнистій і сферичній формі, і дійшли до висновку, що в еквівалентних дозах, волокниста форма більше сприяє виникненню запальних ефектів. Підвищене співвідношення довжини та діаметру вуглецевих нанотрубок, пов'язане з біостійкістю, викликає стурбованість з приводу їх здатності викликати реакції в легенях, аналогічні тим, що викликані впливом азбесту.

Але всі дані, наявні в літературі, показують, що неможливо сформулювати загальну гіпотезу про токсичність усіх наноматеріалів. Кожен наноматеріал, в тому числі однакового хімічного складу, має власний профіль токсичності, який є унікальним і повинен бути оцінений в кожному конкретному випадку. На сьогодні неможливо заздалегідь прогнозувати можливі негативні наслідки дії наноматеріалів на організм людини через багаточисленність параметрів,

що впливають на токсичність, але необхідно передбачити заходи щодо ймовірного впливу наночасток на організм працюючих.

Висновки з проведеного дослідження. З наведеного вище можна зробити наступні висновки.

Згідно з міжнародними вимогами (ISC)/TR12885:2008(E)) необхідно при використанні наночасток передбачати наступні заходи, що зменшують експозицію наночастинками працівників виробництва:

випускати продукцію, що містить наночастинки, в непиллящих формах (пасти, гранули замість аерозолів і порошків) і в герметизованих упаковках;

замінювати наноматеріали з більшою потенційною небезпекою менш небезпечними матеріалами, де це можливо за умовами технологічного процесу;

використовувати допустиму за технологією зволоження сировини і продукції, особливо при наявності джерел пиловиділення;

здійснювати модифікацію поверхні потенційно небезпечних наночастинок, наприклад покриття квантових точок молекулярними шарами інертних малотоксичних неорганічних речовин (сульфід цинку, кремнезем) або органічними детергентами;

автоматизувати і механізувати технологію виробництва, транспортування та фасування сировини, напівфабрикатів та продукції, що містить наноматеріали, з метою виключення безпосереднього контакту працівників із шкідливими та небезпечними виробничими чинниками;

застосовувати у виробничому обладнанні конструктивні рішення і засоби захисту, що спрямовані на зменшення інтенсивності виділення пилу наночастинок та наноматеріалів і локалізацію шкідливих виробничих факторів;

проводити установку систем автоматичного контролю, сигналізації й управління технологічним процесом, особливо на ділянках, де можливий раптовий викид аерозолів наночастинок;

забезпечити автоматичне блокування виробничих систем і устаткування на ділянках, небезпечних по аварійним ситуаціям;

забезпечити дотримання вимог ергономіки і технічної естетики до виробничому устаткуванню і ергономічних вимог до організації робочих місць і трудового процесу;

передбачати включення гігієнічних вимог нормативно-технічну документацію.

Обладнання, що підлягає технічному ремонту, перед початком робіт необхідно очищати від наноматеріалів з використанням систем пиловловлення нанорозмірних аерозолів, а при наявності залишків отруйних речовин макроскопічної дисперсності – необхідно їх піддавати додатковому знезараженню методами, рекомендованими для даних забруднювачів. Машини, механізми та інше технологічне обладнання після модернізації або ремонту проходять перевірку на їх відповідність чинним нормативним документам.

При проектуванні промислових будівель, призначених для роботи з наноматеріалами, особливу увагу необхідно звертати на розташування цехів підприємства, обладнання і установок на відкритих майданчиках, автоматизацію процесів, облаштування робочих місць. При проектуванні важливо враховувати розу вітрів і розділяти робочі місця, що контактують з різними небезпечними матеріалами.

Список литературы

1. **Силаков К.И.** Нанотехнологии. Определения и классификация / К.И. Силаков, Т.Т. Силакова // Вестник НТУУ «КПИ». Серия Радиотехника. Радиоаппаратостроение. – 2011. – № 47. – с. 190-198.
 2. **Сергеев Г.Б.** Нанохимия / **Г.Б. Сергеев** // М.: КДУ, 2006. - 336 с.
 3. **Ковтун Г.П., Вережкин А.А.** Наноматериалы: технологии и материаловедение / **Г.П. Ковтун, А.А. Вережкин** // Харьков: ННЦ ХФТИ, 2010. - 73 с.
 4. **Гусев А.И.** Наноматериалы: технологии / **А.И. Гусев** // М.: Физматлит, 2005. - 416 с.
 5. **Кобаяси И.** Введение в нанотехнологию / **И. Кобаяси** // Пер. с яп.: БИНОМ Лаборатория знаний, 2005. - 134 с.
 6. **M.Reynier.** Définir et repérer les nanomatériaux INRS, Hygiène et sécurité du travail – n°232 – septembre 2013
 7. (Howard, 2012; Loft, 2012; Vogel, 2012).
 8. **S. Binet, S. Malard, M. Reynier.** Des effets sur la santé encore mal connus. Hygiène et sécurité du travail – n°232 – septembre 2013
 9. **V. Honnert, R. Vincent.** Production et utilisation industrielle des particules nanostructurées. INRS, Hygiène et sécurité du travail, ND 2277, 2007.
 10. **E. Gaffet.** Nanomatériaux : une revue des définitions, des applications et des effets sur la santé. Comment implémenter un développement sûr. CR Physique 12 (2011), 648-658.
- Рупис подано до редакції 14.04.15