

## ОЦЕНКА РИСКОВ НА ПРОТЯЖЕНИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОИЗВОДСТВА НАНОМАТЕРИАЛОВ

Анциферова И.В.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Комсомольский проспект, 29, iranciferova@yandex.ru*

**В работе проводится оценка жизненного цикла наноматериалов, для которой необходимо получить подробную информацию о физико-химических свойствах, размере частиц, удельной поверхности, экотоксичности и поведении их в окружающей среде для каждой стадии жизненного цикла. Для этого необходимо провести обзор информации о материале, его различных формах, примесях, которые могут появиться в результате промышленной переработки или трансформаций в окружающей среде. На основании данных составлен профиль опасности материала на протяжении его жизненного цикла. Общая оценка риска, создаваемая полным жизненным циклом наноматериалов, будет состоять из суммы основного и дополнительного рисков для персонала и для окружающей среды.**

Ключевые слова: наночастицы, наноматериалы, дисперсность, тонкая структура, риски развития, опасность, мониторинг, экология, взаимодействие с окружающей средой, токсичность, здоровье, оценка жизненного цикла продукции, воздействие, нанобезопасность.

## RISK ASSESSMENT OF THE LIFE CYCLE OF NANOMATERIALS PRODUCTION

Antsiferova I.V.

*Perm National Research Polytechnic University, Perm, Komsomolsky Prospekt 29, iranciferova@yandex.ru*

**In this study, risk assessment of the life cycle of nanomaterials production was conducted. For the risk assessment, data of physic-chemical properties, such as particle size, specific surface area, eco-toxicity and their environmental behavior for each stage of the operational cycle should be obtained. Therefore, the information review about the material, its various forms, impurities, which can result from the industrial processing or environmental transformations, should be done. A hazard profile of materials during their operational life was designed based on the above information. It is found that there is a hazardous factor in production of nanomaterials, and there are circumstances for personnel under which a health damage will occur.**

Keywords: nanoparticles, nanomaterials, dispersivity, fine structure, evolution risks, danger, monitoring, ecology, environmental interaction, toxicity, health, product life cycle assessment, impact, nanosafety.

В условиях антропогенной нагрузки на экосистемы наноматериалы воздействуют на организм человека не изолированно, а в сочетании с контаминантами объектов окружающей среды, имеющих традиционную степень дисперсности [10; 11]. Совокупное действие на организм разных по механизму воздействия вредных факторов, при разных путях их поступления, приводит либо к усилению токсического эффекта (синергизм), либо, напротив, к его ослаблению (антагонизм) [7]. Действенным инструментом исследования безопасности является анализ риска.

Метод оценки жизненного цикла (ОЖЦ) - один из ведущих инструментов экологического менеджмента в Европейском союзе, основанный на серии ISO-стандартов и предназначенный для оценки эколого-экономических, социальных аспектов и воздействий на окружающую среду в системах производства продукции и утилизации отходов. Принципы, содержание, требования этапов проведения ОЖЦ регламентируются стандартами ISO [3; 8; 9].

Таким образом, для определения экологического риска необходимо знать число вредных экологических событий и количество потенциально вредных событий за определенное время или в определенном объеме или массе, в которых эти события происходят.

Нанотехнологическая продукция сталкивается с множеством проблем, обусловленных различной степенью риска загрязнения окружающей среды [1].

По кровотоку наночастицы циркулируют по всему организму и накапливаются в органах и тканях, включая мозг, печень, сердце, почки, селезенку, костный мозг, нервную и лимфатическую системы [6]. В работе [2] при обследовании состояния здоровья людей, подвергающихся воздействию наночастиц цветных металлов и их оксидов, наблюдались явления ринитов, фарингита, склонность к ОРВИ, бронхиту.

У некоторых обследованных обнаружены изменения со стороны нервной системы, вегетативно-эндокринной дистонии. Смеси порошков металлов могут вызывать более тяжелое поражение этих органов.

### **Цель работы**

Проанализировать перечень свойств наночастиц и наноматериалов, имеющих приоритетное значение для оценки безопасности нанопродукции на протяжении жизненного цикла процесса.

### **Методы исследования**

При проведении исследований использовались методы синтеза, анализа и обобщения информации.

### **Обсуждение материалов**

Для количественной оценки риска используют показатель риска  $R_N$  – отношение числа неблагоприятных событий или явлений ( $n$ ) к величине действующего фактора опасности, например к полному числу случаев проявления опасности ( $N$ ):

$$R_n = n / N \quad (1)$$

С целью определения перечня потенциально вредных наночастиц или наноматериалов необходимо определить все компоненты, образующие наночастицы и наноразмерные аэрозоли в результате производственной деятельности. При этом необходимо учитывать возможные пути трансформации наночастиц и наноматериалов с учётом их физико-химических свойств (растворение, агрегация, адсорбция дополнительных токсичных контаминантов и т.д.), способные повлиять на величину потенциальной опасности как в сторону уменьшения, так и увеличения.

Для этого необходимо рассмотреть риски для персонала и окружающей среды, возникающие на каждой стадии жизненного цикла.

Жизненный цикл наноматериалов: 1) добыча и производство сырья из наноматериалов – 2) производство наноматериалов – 3) производство изделий из наноматериалов – 4) использование наноматериалов – 5) утилизация и отходы наноматериалов.

На первой стадии необходимо собрать информацию, определяющую потенциальную опасность для здоровья человека: физические характеристики (размер и форма), физико-химические характеристики (растворимость в воде и биологических жидкостях, заряд частицы, адсорбционная ёмкость, устойчивость к агрегации, гидрофобность, адгезия к поверхностям, способность генерации свободных радикалов), молекулярно-биологические характеристики (способность взаимодействовать с биологическими макромолекулами и надмолекулярными структурами), цитологические характеристики (способность наноматериалов вызывать гибель клеток (по механизмам некроза или апоптоза) или приводить к появлению в них более или менее стойких морфологических изменений, способность к накоплению в клетках), токсикологическая характеристика (взаимодействие конкретных нанообъектов с различными системами окружающей среды (атмосфера, гидросфера, почвы)), чтобы получить ответы на вопросы: как в ходе этих процессов изменяются свойства наночастиц, каким образом абиотические факторы (солесодержание, pH, ионная сила растворов и т.д.) влияют на физико-химические свойства наноматериалов?

При оценке влияния наноматериалов на этапе их применения учитывается способ использования наночастиц, что определяет путь их воздействия на здоровье человека.

Для оценки риска наноматериалов на этапе их использования необходимо охарактеризовать их опасность по тем же свойствам, что и на этапе производства.

При таком прогнозировании опасности наноматериалов необходимо брать в расчет изменение их состава и свойств во времени и пространстве [4].

При попадании в окружающую среду наночастицы могут взаимодействовать с ней с образованием золь [5].

Наноматериалы могут эффективно сорбировать вещества из окружающей среды и сами поглощаться другими компонентами экологической системы, например поверхностью почв и грунтов [12; 13].

На заключительном этапе жизненного цикла наноматериалов существует лишь незначительная вероятность влияния на окружающую среду, что связано с их склонностью к деградации. Наиболее сложным является их отделение в установках для переработки отходов. Для идентификации наночастиц должны быть учтены следующие характеристики материалов: размер и форма материала, характер, заряд, поверхностные функциональные группы, химическая формула.

Таким образом, общая оценка риска, создаваемая полным жизненным циклом наноматериалов, будет состоять из суммы основного и дополнительного рисков для персонала и для окружающей среды.

На основании работы [2] установлено, что имеется вредный фактор при производстве наноматериалов и для персонала имеются обстоятельства, при котором будет нанесен ущерб здоровью работника.

Поэтому необходимо рассмотреть фактор опасности определенного вида для отдельного индивидуума (индивидуальный риск).

При определении индивидуального риска необходимо учитывать долю времени нахождения в «зоне риска».

Тогда индивидуальный риск  $R_{\text{инд}}$  для человека может быть рассчитан по формуле

$$R_{\text{инд}} = A \sum \omega_i D_i , \quad (2)$$

где  $A$  – коэффициент риска;  $\omega_i$  – взвешивающий коэффициент для органа или ткани;  $D_i$  – эквивалентная доза, учитывающая поступление наноматериалов определенным путем (ингаляция, прием с водой и пищей, через кожу) к рассматриваемому органу или ткани.

При вычислении риска необходимо учитывать: основной риск, дополнительный риск и общий или суммарный риск [4]. Основной риск  $R_A$  - это риск, который существует для людей безотносительно какого-либо источника риска (наиболее предсказуемые риски). Дополнительный риск  $R_D$  - это риск, обусловленный каким-то определённым источником риска (например, риск воздействия производства наночастиц, нанотоксикологический риск, биологическое действие наноматериалов, риск за счет загрязнения окружающей среды в большом городе и т.п.).

Суммарный риск  $R_{\text{сум}}$  равен сумме основного и дополнительного рисков  $R_D$ :

$$R_{\text{сум}} = R_A + R_D . \quad (3)$$

Риск для персонала ( $R_{\text{п}}$ ), занятого в производстве наноматериалов и продуктов, содержащих наноматериалы, возникает, в первую очередь на этапах 1, 2, 3 и 5. Риск для населения ( $R_{\text{н}}$ ) возникает в результате выбросов и сбросов наноматериалов (основной риск,  $R_A$ ) на этапах 1, 2, 3 и 5, а также при использовании товаров, содержащих наноматериалы на этапе 4 и сопутствующие загрязняющие вещества (дополнительный риск,  $R_D$ ) на этапах 1, 2, 3 и 5. Риск для окружающей среды ( $R_{\text{ос}}$ ) возникает в результате выбросов и сбросов наноматериалов (основной риск,  $R_A$ ) на этапах жизненного цикла наноматериалов 1, 2, 3 и 5, а также сопутствующих загрязняющих веществ (дополнительный риск,  $R_D$ ).

Таким образом, общая оценка риска, создаваемая полным жизненным циклом наноматериалов, будет состоять из суммы основного и дополнительного рисков для персонала и для окружающей среды и населения:

$$\begin{aligned}R_{\Pi} &= R_{A\Pi} + R_{B\Pi} = R_{1\Pi} + R_{2\Pi} + R_{3\Pi} + R_{5\Pi} + R_{д\Pi}, \\R_{H} &= R_{A_H} + R_{B_H} = R_{1_H} + R_{2_H} + R_{3_H} + R_{4_H} + R_{5_H} + R_{д_H}, \\R_{OC} &= R_{A_{OC}} + R_{B_{OC}} = R_{1_{OC}} + R_{2_{OC}} + R_{3_{OC}} + R_{5_{OC}} + R_{д_H}.\end{aligned}\tag{4}$$

Дополнительный риск рассчитывается для каждого конкретного производства.

### **Заключение**

1. Опасность наноматериалов напрямую связана с их размерами, с высокой удельной поверхностью, которая обуславливает высокую химическую активность и высокую способность к проникновению в организм.

2. Оценка риска, создаваемая полным жизненным циклом наноматериалов, будет состоять из суммы основного и дополнительного рисков для персонала и для окружающей среды.

### **Список литературы**

1. Анциферова И.В. Наноматериалы и потенциальные экологические риски. Порошковая металлургия и функциональные покрытия // Известия вузов. - 2010. - № 1. - С 48-53.
2. Анциферова И.В., Зенков А.И., Эсаулова И.А., Владимирский Е.В. Влияние нанопорошков на функциональные системы организма // Технология металлов. – 2012. - № 3. - С. 19-27.
3. ГОСТ Р ИСО 1440-2010. Экологический менеджмент. Оценка Жизненного Цикла. Принципы и структура / Национальный стандарт Российской Федерации. - М. : Стандартинформ, 2010.
4. Методологические проблемы изучения и оценки био- и нанотехнологий (нановолны, частицы, структуры, процессы, биообъекты) в экологии человека и гигиене окружающей среды // Материалы пленума Науч. совета по экологии человека и окружающей среды РАМН и Миндравсоцразвития Российской Федерации / под ред. акад. РАМН Ю.А. Рахманина. – М., 2009.
5. Экология наноматериалов : учебное пособие / А.Ю. Годымчук и др. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2012. – 272 с.
6. Antsiferova I.V The Potential Risks of Exposure of Nanodispersed Metal and Non-Metallic Powders on the Environment and People // World Applied Sciences Journal 22 (Special Issue on Techniques and Technologies): 34-39, 2013.

7. Damgaard A. Life-cycle-assessment of the historical development of air pollution control and energy recovery in waste incineration // Waste Management. - 2010. - № 30. - P. 1244-1250.
8. ISO (2006a): Environmental management - life cycle assessment - principles and framework. ISO 14040. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
9. ISO (2006b): Environmental management - life cycle assessment - requirements and guidelines. ISO 14044. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
10. Jiang J., Oberdorster G., Biswas P. Characterization of size, surface charge, and agglomeration state of nanoparticle dispersions for toxicological studies // J. Nanopart Res. - 2009. - Vol. 11, № 1. - P. 77-89.
11. Jiang J., Oberdorster G., Elder E., Gelein R., Mercer P., Biswas P. Does nanoparticle activity depend upon size and crystal phase? // Nanotoxicology. - 2008. - Vol. 2, № 1. - P. 33-42.
12. Hyung H., Fothner J.D., Kim J.H. Natural organic matter stabilizes carbon nanotubes in the aqueous phase // Environmental Science and Technology. – 2007. – V. 49. – P. 179-184.
13. Lyon D.Y., Thill A., Rose J., Alavares P.J. Ecotoxicological impacts of nanomaterials. In: Weisner M.R., and Bottero J-Y. // Environmental Nanotechnology: Applications and Implications of Nanomaterials. – New York : McGraw-Hill, 2007. – P. 445-479.

**Рецензенты:**

Ханов А.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Материалы, технологии и конструирование машин», г. Пермь;

Симонов Ю.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов», г. Пермь.