

На сегодняшний день развитие нанотехнологий носит глобальное социально-экономическое значение. Согласно прогнозным оценкам в ближайшие годы ожидается широкое внедрение новых видов нанотехнологической продукции в различные области деятельности человека, включая медицину, фармацевтику, химическую и пищевую промышленность, производство товаров народного потребления [1-3]. Однако вместе с растущей коммерциализацией нанотехнологических продуктов, возрастает вероятность прямого экспонирования людей наноматериалами. Ввиду недостаточной изученности потенциальных рисков, связанных с производством и использованием наноразмерных материалов, особую актуальность приобретают вопросы токсиколого-гигиенической оценки безопасности наноматериалов для здоровья человека и объектов среды обитания [1]. В этой связи весьма актуальным представляется вопрос о выявлении путей проникновения наночастиц в организм человека, а также поиск эффективных способов защиты работников предприятий nanoиндустрии от воздействия данного вредного фактора. Под наночастицей в общем случае понимают частицы с номинальным диаметром менее 100 нм. Целый ряд современных промышленных технологий, так или иначе, связан с использованием или образованием наночастиц на различных стадиях технологического процесса (см. табл. 1). Основным путем проникновения наночастиц в организм человека являются органы дыхания, а также желудочно-кишечный тракт при заглатывании загрязненной наночастицами еды. Также возможно проникновение наночастиц в организм человека через такие пути поступления, как трансдермальный и интраназальный через ольфакторный тракт напрямую в центральную нервную систему.

Таблица 1 - Потенциальные источники наноаэрозолей в производственной среде [4]

Группа аэрозолей	Источник
Аэрозоли, образующиеся в высокотемпературных процессах	Рафинирование металлов
	Плавка алюминия
	Плавка стали
	Плавка железа
	Гальванизация
	Сварка
	Резка
	Резка металлов
Термическое распыление покрытия	Приготовление пищи
Применение горячего воска	Аэрозоли, образующиеся при горении
	Дизельные двигатели
	Бензиновые двигатели
	Газовые двигатели
	Сжигание (например, топлива на электростанциях, при отоплении, при кремации)
Газовые отопительные приборы	Аэрозоли в воздухе замкнутых помещений
Аэрозоль, образующийся в результате реакций газообразных/парообразных выделений оргтехники, моющих средств и строительных материалов с водой, озоном и другими газами/парами	Попадание аэрозолей из атмосферы
Аэрозоли, образующиеся в процессе механической обработки материалов	Высокоскоростное измельчение и обработка
	Высокоскоростное сверление
Аэрозоли, образующиеся при пламенном нанесении порошковых покрытий	Получение технического углерода
	Получение тонкодисперсного диоксида титана
	Получение высокодисперсного диоксида кремния
	Получение высокодисперсного оксида алюминия
	Аэрозоли,

образующиеся при обработке материалов Обработка порошков наночастиц
Обработка сухих остатков коллоидных растворов Аэрозоли в нанотехнологии
Производство углеродных нанотрубок Получение наночастиц с заданными
свойствами в газовой фазе Обработка и применение порошков наночастиц с
заданными свойствами Аэрозоль, образующийся из суспензий, растворов и паст
Наночастицы после ингаляции проникают в кровеносное русло по разным
механизмам. Скорость этого процесса может варьировать для наночастиц
разных размеров и химического состава. Но в некоторых случаях этот процесс
может осуществляться очень быстро. Возможно проникновение наночастиц в
организм человека и через кожные покровы по 3 основным путям: между клеток,
через клетки и через волосяные фолликулы. Проникновение в организм человека
через кожные покровы для наночастиц облегчается тонкостью верхнего слоя
кожи - эпидермиса. Лежащий же под ним слой (дерма) богат макрофагами крови
и тканей, лимфатическими узлами, дендритными клетками, в него «выходят»
окончания сенсорных нервов различных типов, которые способны поглощать и
распространять нанообъекты за пределы их первоначальной аппликации. В
таблице 2 приведены данные по воздействию наночастиц на здоровье человека
при их проникновении через дыхательные пути. Таблица 2 - Эффекты
воздействия наночастиц на здоровье человека [6] Наименование Эффекты
Эффекты воздействия наночастиц на здоровье Нерастворимые неорганические
наночастицы Накопление Перемещение наночастиц по аксонам к обонятельному
нерву Наночастицы обнаружены в лимфатических ганглиях, проникают в
межклеточное пространство, перемещаются к органам, циркулируют в сосудах
легкого Влияние на дыхательную систему Значительное увеличение
воспалительных признаков, воспаление легких, фиброз, новообразования и
опухоль легкого Цитотоксичность, легочная эмфизема, накопление макрофагов,
гиперплазия пневмоцитов тип II, апоптоз эпителиальных клеток Генотокси-
ческий эффект Канцерогенный эффект Генные мутации Углеродные нанотрубки
Влияние на дыхательную систему Воспаление и гранулемы легкого Генотокси-
ческий эффект Гранулемы и фиброз легкого Повреждение отдельных генов,
окислительный стресс Можно видеть, что наночастицы обладают выраженным
токсическим действием. Именно поэтому в 2010 г. были утверждены
гигиенические нормативы ГН 1.2.2633-10 «Гигиенические норма-тивы
содержания приоритетных наноматериалов в объектах окружающей среды»,
которые впервые установили значения допустимых концентраций
наноматериалов в воздухе рабочей зоны, в воде водоемов, а также в питьевой
воде. Так, согласно требованиям ГН 1.2.2633-10, количество наночастиц серебра
размером 5-50 нм в водоемах и питьевой воде не должно превышать 0,05мг/дм³,
а среднесменная концентрация наночастиц диоксида титана тех же размеров в
воздухе рабочих зон не должна быть более 0,1 мг/м³, одностенных углеродных
нанотрубок с диаметром 0,4-2,8 нм и длиной более 5000 нм - 0,01 волокна в 1

смЗ (при длине волокна более 5 мкм). В соответствии с Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 31 октября 2007 г. №79 все наноматериалы должны пройти полную токсикологическую оценку. До момента установления степени опасности конкретных наноматериалов их следует рассматривать как новую продукцию и относить к веществам, потенциально опасным для здоровья человека. Согласно МР 1.2.0024-111.2 каждый наноматериал, который может образовываться в процессе производства, а, следовательно, может оказывать воздействие на организм работников предприятий nanoиндустрии, должен иметь паспорт безопасности, оформленный в соответствии с требованиями ГОСТ 30333-2007. Если на предприятии применяются наночастицы и наноматериалы необходимо предусмотреть проведение организационно-техно-логических, гигиенических, санитарно-технических, медико-биологических мероприятий, которые направлены на устранение или ослабление действия наночастиц на организм человека и реализацию системы управления профессиональными рисками. При этом рекомендуется также использовать прогрессивные технологии, информативные методы контроля, мониторинг условий труда персонала по вредным факторам рабочей среды, эффективные средства коллективной защиты, надежные средства индивидуальной защиты. Согласно требованиям международного стандарта ISO/TR 12885:2008(E) на предприятиях nanoиндустрии должны быть предусмотрены следующие мероприятия, уменьшающие экспозицию наночастицами работников производств и населения: - выпуск продукции, содержащей наночастицы, в непылящих формах (пасты, гранулы вместо аэрозолей и порошков) и в герметизированных упаковках; - замена наноматериалов с большей потенциальной опасностью менее опасными материалами, где это возможно по условиям технологического процесса; - использование допустимого по технологии увлажнения сырья и продукции, особенно при наличии источников пылевыведения; - осуществление модификации поверхности потенциально опасных наночастиц, например покрытие квантовых точек молекулярными слоями инертных малотоксичных неорганических веществ (сульфид цинка, кремнезем); - автоматизация и механизация технологии производства, транспортирования и расфасовки сырья, полуфабрикатов и продукции, содержащей наноматериалы, с целью исключения непосредственного контакта работников с вредными и опасными производственными факторами; - применение в производственном оборудовании конструктивных решений и средств защиты, направленных на уменьшение интенсивности выделения пыли наночастиц и наноматериалов и локализацию вредных производственных факторов; - установка систем автоматического контроля, сигнализации и управления технологическим процессом, особенно на участках, где возможен внезапный выброс аэрозолей наночастиц; - обеспечение автоматической блокировки производственных

систем и оборудования на участках, опасных по аварийным ситуациям; - обеспечение соблюдения требований эргономики и технической эстетики к производственному оборудованию и эргономических требований к организации рабочих мест и трудового процесса; - включение гигиенических требований в нормативно-техническую документацию. Таким образом, до тех пор, пока законодательно не установлены ПДК для наноматериалов, работникам предприятий наноиндустрии необходимо соблюдать максимальные меры защиты, как при работе с особо опасными химическими веществами.