

ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИЙ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Н.С. Леоненко, А.В. Демецкая, О.Б. Леоненко

ГУ «Институт медицины труда имени Ю.И. Кундиева НАМН Украины», Киев, Украина

РЕЗЮМЕ. В статье представлены особенности динамики концентраций наноразмерных частиц в воздухе рабочей зоны при проведении сварочных работ, которые характеризуются в большинстве случаев резким увеличением их эмиссии в течение первых минут после сварки и снижением ее с неоднозначными колебаниями в течение 30 и больше минут. Также обобщены данные по образованию наночастиц при различных производственных процессах, связанных с получением нанопроизводства, концентрации которых могут превышать рекомендуемые в странах ЕС уровни экспозиции, что требует как усовершенствования технологических процессов, так и разработки мер безопасности при работе с наноразмерными объектами.

Ключевые слова: наночастицы, сварочные аэрозоли, воздух рабочей зоны.

Широкое развитие и внедрение нанотехнологий позволяет успешно решать многие проблемы повышения уровня жизни, энергообеспечения, экологии и способствует прогрессу в промышленности, науке, технике, медицине, защите окружающей среды, сельском хозяйстве и других отраслях народного хозяйства. По существующим прогнозам в ближайшей перспективе производство наноматериалов, а следовательно их количество и разнообразие будут стремительно возрастать [1]

Это с неизбежностью приведёт к поступлению значительных количеств наноматериалов в окружающую среду, накоплению их в компонентах биоты и абиотических средах с последующей возможной передачей человеку и проявлению вредного воздействия наночастиц на живые организмы. А вследствие малой изученности нанообъектов, свойства которых существенно отличаются от таковых в макрообъемном состоянии, возможны проявления особенностей поведения в реальных условиях, что может повлечь за собой и новые опасности. [2–7].

Особенности токсического действия наночастиц в отличие от макроформ веществ зависят от множества факторов: физической природы их, свойств поверхности, структуры нанокластеров и наночастиц, разнообразия размеров, форм, способов получения и диспергирования, концентрации, состава, примесей, а также

последствий биомодификации и биотрансформации одного и того же материала, биологической модели, на которой проводятся испытания [8].

Основными источниками поступления наноразмерных частиц как в окружающую среду, так и в воздух рабочей зоны, есть промышленное производство (химический синтез, механосинтез, электронно-лучевой синтез в вакууме и др.), лабораторный синтез наноматериалов (оксиды кремния, титана, цинка, железа, церия, алюминия, металлические наночастицы железа, меди, кобальта, никеля, алюминия, серебра, золота, углеродные нанотрубки, фуллерены, наночастицы биополимеров и рекомбинантных вирусов, углеродные нанотрубки), а также побочные продукты человеческой деятельности (сварка, литейное производство, продукты работы бензиновых и дизельных двигателей), сопровождающейся выделением НЧ [9, 10].

При обследовании рабочих мест, связанных с нанотехнологиями, установлено достоверное превышение содержания наночастиц от 5 до 68 раз в воздухе рабочей зоны непосредственно во время производственного процесса по отношению к контрольным (фоновым) показателям [2].

Согласно большому числу научных исследований наночастицы более токсичны, чем обычные микрочастицы, способны проникать в неизменном виде через

клеточные барьеры, а также через гематоэнцефалический барьер в центральную нервную систему, циркулировать и накапливаться в органах и тканях, вызывать патоморфологические изменения внутренних органов, а также крайне тяжело выводятся из организма [11, 12, 13].

По уровню влияния на здоровье человека взвешенные частицы, особенно мелкие, Всемирной организацией здравоохранения отнесены к приоритетным загрязняющим веществам. Поэтому одним из новых актуальных направлений в современных гигиенических исследованиях является оценка опасности частиц в наноразмерном состоянии, аэродинамический диаметр которых менее 0,1 мкм.

Следует отметить, что среди совокупности вредных промышленных факторов, сопровождающихся образованием наноразмерных частиц, сварочные аэрозоли (СА) оказывают наиболее негативное влияние на организм человека. Биологическая активность соединений металлов, входящих в состав СА, зависит от их способности связываться с белками крови и тканей, повышать проницаемость клеточных мембран или повреждать их, блокировать внутриклеточные и внеклеточные ферментные системы, что в конечном итоге приводит к развитию патологических изменений в организме. По результатам анализа условий труда рабочих, занятых различными способами сварки, установлено, что выполнение таких работ сопровождается образованием вредных факторов химической природы, состоящих из токсичных компонентов СА, а также пыли флюсов. Эти факторы зависят от метода сварки, качественного состава металла и др. Исследованиями наличия вредных веществ в воздухе рабочей зоны и зоне дыхания работающих, занятых различными видами и способами сварки, выявлено, что наиболее неблагоприятным фактором является именно химический. Концентрация твердой составляющей и других вредных веществ СА в зоне дыхания сварщиков растет пропорционально скорости их образования в зоне дуги [14, 15].

Поэтому оценка динамики концентраций наноразмерных частиц в воздухе рабо-

чей зоны в производственных условиях может быть основанием для разработки мероприятий по уменьшению их опасности.

Материалы и методы исследований. Счетную концентрацию наночастиц в воздухе рабочей зоны измеряли с помощью диффузионного аэрозольного спектрометра ДАС-2702 (Россия) с объемным расходом воздуха 0,5 л/мин. Концентрацию ультрадисперсных частиц фиксировали поминутно после окончания сварки.

Диффузионный аэрозольный спектрометр сочетает в себе диффузионные батареи и конденсационный счетчик частиц. Возможности прибора включают определение суммарной счетной концентрации частиц в диапазоне от 3 до 200 нм, ширину распределения и спектр распределения по размерам в диапазоне от 3 до 200 нм. Спектр распределения по способу расчёта [16] является одномодальным и позволяет определить следующие параметры: счетную концентрацию частиц в диапазоне максимума концентрации (частиц в см³); диапазон размеров частиц, на который приходится максимум концентрации (нм). Время измерения одного набора значений составляло 0,8 – 1,2 мин.

В исследовании использовали электроды марок: 14-25, 14-26, 14-27, 14-30, 14-32, АНО-36, АНО-12, Cristal. Исследования проводились в сварочно-испытательном комплексе Института медицины труда им. Ю.И. Кундиева НАМН Украины.

Пробы СА отбирались в соответствии со стандартом ДСТУ ISO 15011-1:2008 [17] методом полного улавливания аэрозоля, который образуется во время сварки с помощью специального стенда с фильтром ФПП, установленного на пути движения СА из укрытия зоны сваривания.

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных исследований установлено, что наибольшая эмиссия наноразмерных частиц в воздух сразу после сварки (первая-вторая минута) была у электродов Crystal, 14-32, АНО-12, 14-30 и 14-27 (табл. 1). В то же время первичная эмиссия наночастиц у электродов 14-26, АНО-36 и 14-25 была значительно меньше по сравнению с первой группой электродов (от 5 до 15 раз).

Динамика концентраций наночастиц в воздухе рабочей зоны при сварке исследуемыми электродами (частиц/см³)

Марка электрода	Фон	1 мин.	5 мин.	10 мин.	20 мин.	30 мин.
Crystal	32969	297 823	87 425	58 303	73 789	31 936
14-32	26896	268 305	109 600	60 650	81 696	43 033
АНО-12	28 328	261 705	97 943	118 971	147 595	68 436
14-30	32 102	235 508	82 696	85 331	65 261	65 225
14-27	24 485	217 373	99 923	80 190	40 839	70 138
14-26	32 325	95 501	60 468	43 250	54 841	65 326
АНО-36	39 854	81 403	105 791	126 856	136 876	105 601
14-25	23 102	40 096	88 785	57 973	65 549	70 998

В последующем с 5 до 30 минуты практически для всех электродов (за исключением АНО-36 и 14-25) наблюдалось постепенное снижение счетных концентраций наноразмерных частиц. Причем, сразу после сварки (первая минута) счетные концентрации наночастиц при использовании электродов АНО-12 и АНО-36 были разными, а в последующем (с 5 по 30 минуту) динамика их практически не отличалась. Так, АНО-12 не только характеризовался высокой эмиссией наночастиц в первую минуту после сварки (261705 частиц/см³), но и демонстрировал ее незначительное уменьшение со временем – даже через 20 мин после сварки она оставалась достаточно высокой (147595 частиц/см³). А через 30 мин. фиксировались значения, сравнимые с таковыми других исследованных электродов – 14-25, 14-26, 14-27, 14-30. Исключением был электрод АНО-36, после сварки которым, несмотря на первоначальные незначительные концентрации наночастиц, в дальнейшем проявлялась тенденция к росту общей концентрации.

Наибольший прирост эмиссии частиц от 1 до 100 нм сразу после сварки наблю-

дался при использовании электрода Crystal – 264854 частиц/см³ (рис.1.), а наименьший – при использовании электрода 14-25 и составил 16 994 частиц/см³ (табл. 2). В последующем с 5 по 30 минуту фактический прирост концентраций НЧ в воздухе рабочей зоны уменьшался в 6 из 8 исследованных электродов (за исключением 14-25 и АНО-36), что может быть связано с агломераций НЧ из-за отсутствия их стабилизации.

Динамика приростка концентраций наночастиц в воздухе рабочей зоны сварщика (аналогично с электродом Crystal) в первые 1–2 минуты исследования также была максимальной при использовании и других электродов: 14-30, 14-27, 14-32 и АНО-12 (соответственно от 7,34 до 9,98 раза) по сравнению с соответствующими фоновыми величинами. Прирост концентраций наночастиц для электродов 14-25, АНО-36 и 14-26 был значительно меньшим, чем у других электродов в этом эксперименте через 1–2 минуты сразу после процедуры сварки (соответственно в 1,73 и 2,95 раза) и относительно более высоким в последующем от 5 минуты до 20–30 минуты, чем в первый срок исследования.

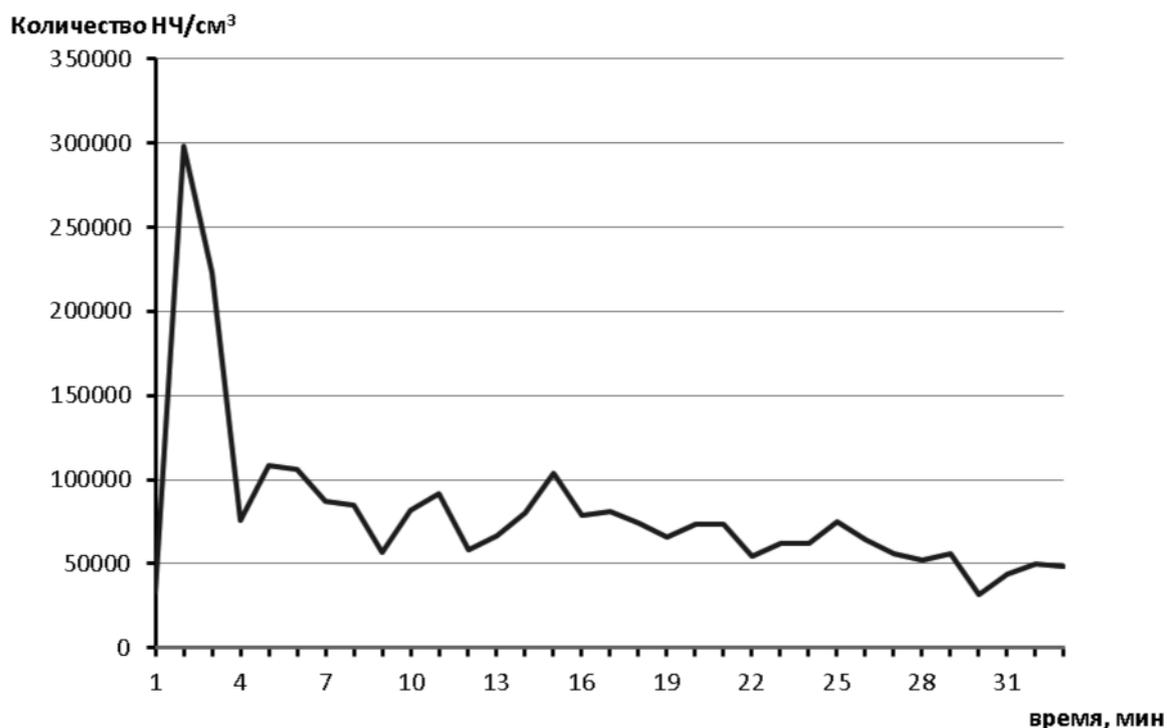


Рис. 1. Динамика концентрацій частиц размером 1-100 нм в воздухе рабочей зоны при использовании электрода Crystal

Таблица 2

Прирост концентраций наночастиц в воздухе рабочей зоны при сварке исследованными электродами (частиц/см³)

Электрод	Время после начала сварки				
	1 мин	5 мин.	10 мин.	20 мин.	30 мин.
Crystal	264 854	54 456	25 334	40 820	0
14-32	241 409	82 604	33 754	54 800	16 137
АНО-12	233 377	69 615	90 643	119 267	40 108
14-30	203 406	50 594	53 229	33 159	30 123
14-27	192 888	75 438	55705	16 354	45 653
14-26	63 176	28 123	10 925	22 516	33 001
АНО-36	41 549	65 937	87 002	97 022	65 747
14-25	16 994	65 683	34 871	42 447	47 896

Раньше при исследовании других электродов (МР-3, ЦНИИН-4, НЖ-13) также установлено, что при сварке образуются и попадают в воздух рабочей зоны ультрадисперсные частицы диаметром от 1 до 100 нм, а концентрации их зависели от состава и диаметра сварочного электрода, а также расстояния от места горения электрода, метода сварки, качественного состава металла и увеличивались пропорционально скорости их образования в зоне дуги [18].

Проведение сварочных работ приводило к резкому росту концентрации ультрадисперсных частиц через 1–2 минуты горения электрода. Чем ближе расстояние от зоны дуги горения, тем выше была концентрация НЧ – на расстоянии 1 м от зоны дуги, общая концентрация ультрадисперсных частиц при использовании электродов МР-3 составляла 140 426 частиц/см³, что было почти в три раза больше, чем на расстоянии 2 м от зоны дуги (48 284 частиц/см³). В последующие 2 минуты концентрация ультрадисперсных частиц резко уменьшилась и составила 10564–12315 частиц/см³, при этом не было зафиксировано частиц размерами до 50 нм включительно. В то же время зафиксировано значительное количество частиц размером от 100 до 200 нм, что может быть объяснено агломерацией НЧ.

В целом, динамику концентрации ультрадисперсных частиц при сварке в режиме реального времени было охарактеризовано следующим образом: в течение первых одной-двух минут после сварки в большинстве случаев наблюдается резкое как увеличение концентрации ультрадисперсных частиц, так и ее падение с последующими неоднозначными колебаниями концентраций наночастиц в течение 30 и больше минут и некоторым восстановлением фоновых уровней после сварки в зависимости от марки электрода и его диаметра, а также от расстояния от зоны сваривания. С увеличением расстояния от места сварки концентрация частиц уменьшается.

Особенности динамики концентраций наноразмерных частиц наблюдались и в других технологических процессах, свя-

занных с получением нанопродукции. Так, во время работы электронно-лучевой установки УЭ-202 по производству наноматериалов и порошков с наноструктурой для авиации, двигателей, газоперекачивающих турбин максимальная концентрация частиц размером от 1 до 100 нм в воздухе рабочей зоны составляла 135 618 частиц/см³ (табл. 3), что значительно превышало рекомендованные в странах ЕС уровни экспозиции (20 000 – 40 000 частиц/см³). Минимальная концентрация частиц от 1 до 100 нм составляла 14 666 частиц/см³, то есть отвечала допустимому урону [19].

При исследовании общей концентрации частиц от 0 до 100 нм в воздухе рабочей зоны планетарной мельницы для механической активации и механосинтеза наноразмерных порошков металлов [20,21] установлено, что она является очень низкой – на уровне обычной лабораторной комнаты. При закрытых барабанах концентрация стабильно колебалась в пределах 8738 - 11225 частиц/см³.

В то же время при открытии барабанов в первую минуту концентрация возросла до 13 530 частиц/см³, (первый пик от 11 до 12 минут), однако уже в последующую минуту снизилась до 10 446 частиц/см³ и оставалась стабильной до включения вытяжки.

При проведении физико-химического синтеза наночастиц сульфида кадмия (CdS) в различных условиях: синтез наночастиц CdS, стабилизированных тиогликолевой кислотой в щелочной среде (NaOH) и синтез наночастиц CdS стабилизированных желатином без нагрева (при температуре около 20° С), а также синтез наночастиц CdS с желатином, подогретым до 45–50°С, установлено, что концентрация частиц от 1 до 100 нм в воздухе на рабочем месте научного сотрудника, занятого физико-химическим синтезом наноразмерного сульфида кадмия преимущественно колебалась в пределах 21 000 – 42 000 частиц/см³ [22], что почти не превышало рекомендуемые в странах ЕС уровни экспозиции (20000 – 40000 частиц/см³).

Так, при синтезе наночастиц CdS, стабилизированных тиогликолевой кислотой в щелочной среде без нагревания (через 46 мин. после начала измерений), были

Уровни эмиссии наночастиц при различных производственных процессах [22, 23]

№	Производственный процесс	Фоновый уровень, частиц/см ³	Концентрация наночастиц во время производственного процесса, частиц/см ³
1	Электронно-лучевой синтез в вакууме порошков металлов с наноструктурой	14 666	135 618
2	Механическая активация и механо-синтез наноразмерных порошков металлов	8 738	10 446 - 13 530
3	Химический синтез наночастиц сульфида кадмия стабилизированных тиогликолевой кислотой	14 000	23 000-26 000
4	Химический синтез наночастиц сульфида кадмия с желатином (без нагрева)	14 000	21 000 – 29 000
5	Химический синтез наночастиц сульфида кадмия с желатином (с нагревом)	14 000	28 000 – 42 000
6	Выплавка вторичного свинца (экспериментальное воспроизведение)	8535	26 000 – 50 000
7	Электросварка	8 600-30 000	80 000 – 290 000
8	Переработка растительного сырья	5 000	5 000 – 10 000
9	Ручная дозировка хризотилового асбеста	12 000	20 000 – 25 000

зафиксированы концентрации наночастиц в воздухе на уровне 23000-26000 частиц/см³. Концентрации наночастиц размером от 1 до 100 нм в воздухе через 3 минуты после синтеза с подогретым желатином (через 26 минут после начала измерений) увеличились с 28000 до 42000 частиц/см³. В то же время синтез наночастиц CdS с желатином без нагревания (через 37 минут после начала измерений) не повлиял на общую концентрацию частиц 1-100 нм в воздухе, которая колебалась как до синтеза, так и после него в пределах 21 000 – 29 000 частиц/см³.

При других производственных процессах (выплавка вторичного свинца, переработка растительного сырья, дозирование хризотилового асбеста) [22, 23] концентрация НЧ в воздухе рабочей зоны были на уровне от 5 000 до 50 000 (табл. 3)

Таким образом, был сделан вывод о наибольшей потенциальной опасности такого

нанотехнологического процесса как электронно-лучевой синтез в вакууме, а также производственных процессов, целью которых не является получение наноматериалов (электросварка, выплавка вторичного свинца).

Согласно данным литературы при исследовании ультрадисперсных аэрозолей [24, 25, 26] по счетной концентрации наночастиц в воздухе рабочей зоны при различных видах производственных процессов на предприятиях горнодобывающей, резинотехнической и химической промышленности получены принципиально различные характеристики взвешенных частиц. Для сравнения использовали аналогичные по алгоритму исследования величин на рабочих местах административных сотрудников или инженерно-технических работников (ИТР), не участвующих в производственных процессах. Так, в воздухе рабочей зоны горнодобывающего

предприятия в подземных условиях труда – сравнительно большое число и массовая концентрация частиц руды с размерами от 0,5 до 3 мкм, счетная концентрация наночастиц не отличается от контроля; над землей: в процессе флотации – высокая счетная концентрация наночастиц и низкая массовая концентрация взвешенных веществ; в процессе гранулирования – максимальная счетная концентрация наночастиц выше контрольной в 19 – 26 раз; в процессе перегрузки продукта – максимальная счетная концентрация выше контрольной в 6 раз. В воздухе рабочей зоны цехов предприятия резинотехнической промышленности (по сравнению с контрольным рабочим местом) достоверное превышение счетной концентрации частиц на рабочих местах было от 4 до 11,2 раза. Химическое производство характеризовалось более высоким уровнем счетной концентрации частиц в максимуме распределения на рабочем месте – 10 683 частиц в см³. При этом на трех из семи рабочих мест на производстве получены более низкие счетные концентрации, что согласовалось с высокой влажностью на рабочих местах аппаратчиков абсорбции, осаждения, подготовки сырья и отпуска полуфабрикатов и продукции. Повышенные по сравнению с контрольными значениями счетной концентрации наночастиц были получены на рабочем месте аппаратчиков окисления – 32 844 частиц в см³ (в 3 раза), конденсации – 48 544 частиц в см³ (в 4,5 раза), производства химических реактивов – 53 583 частиц в см³, (в 5 раз).

Образование устойчивого аэрозоля возможно также на разных стадиях синтеза/обработки оксидных и металлических нанопорошков в исследовательской лаборатории. Концентрации аэрозольных частиц в воздухе рабочей зоны (число частиц/см³) определяли в диапазоне от 14 до 723 нм [27]. Лаборатория включала 6 секторов синтеза/обработки наноматериалов. Во время измерения каждый сектор запускался в работу при выключении остальных секторов. Среднесуточная концентрация работающей лаборатории определялась 3 раза в день (10:00, 13:00 и 18:00 ч.) в течение 6 месяцев при постоянном производстве

наноструктурных материалов и составляла от 31 200 до 6 081 000 частиц/м³. Причем последние максимальные количества их были отмечены на стадиях дезагрегации высушенных нанопорошков в высокооборотистой мельнице. При восстановлении гидроксидных и оксидных нанопорошков общее количество НЧ было 2 562 000. При остальных стадиях техпроцессов концентрации НЧ были от 30 400 до 55 800, а среднесуточная концентрация в лаборатории – 35 300.

Наибольшая распространенность нанозаэрозолей в рабочих зонах связана с формированием частиц при высокотемпературных процессах (таких как рафинирование и обработка, термическое распыление, сварка, резка и шлифовка металлов). Процессы горения также сопровождаются образованием наночастиц. Размер частиц зависит от условий получения их, хотя первичные частицы будут в основном иметь диаметр от 10 до 50 нм. Если содержание первоначально образующихся частиц высокое, то они быстро коагулируют друг с другом с образованием агломератов, которые могут иметь размеры, превышающие установленные для наночастиц. Считается, что эти открытые (фрактального типа) агломераты первичных частиц после осаждения в дыхательных путях будут обнаруживать значительное сходство в поведении с наночастицами. Простые оценки показывают, что уменьшение содержания частиц на 50 % ожидается через 20 ч из-за коагуляции при счетной концентрации частиц 1014 м⁻³, а при счетной концентрации частиц 1010 м⁻³ такое же уменьшение будет происходить за 55 ч [26, 28].

Нанотехнологии, как и любые новые технологии, несут не только несомненные преимущества, но и потенциальную опасность вредного воздействия на здоровье человека и природные экосистемы. Согласно анализу большого числа научных исследований наночастицы более токсичны, чем обычные микрочастицы, способны проникать в неизменном виде через клеточные барьеры, а также через гематоэнцефалический барьер в центральную нервную систему, циркулировать и накапли-

ливаться в органах и тканях, вызывая более выраженные патоморфологические повреждения внутренних органов (например, образование гранулем в легких, цирроз печени, гломерулонефроз), а также из-за стабильности крайне тяжело выводятся из организма [7].

Среди производственных процессов с наиболее высоким риском вредного воздействия наноразмерных аэрозолей выделяются электродуговая сварка и резка металлов, пиро-металлургические процессы рафинирования металлов, газо-аэро-

зольные выхлопы дизельных двигателей, производство и применение лакокрасочных наноматериалов, нанесение защитных нанопокровов [29].

Концентрации наноразмерных частиц при различных производственных процессах могут превышать рекомендуемые в странах ЕС уровни экспозиции, что требует как усовершенствования технологических процессов, так и разработки мер безопасности при работе с наноразмерными объектами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Generation, inhalation delivery and anti-hypertensive effect of nisoldipine nanoaerosol / A.A. Onischuk, T.G.Tolstikova, A.M.Baklanov [et al.] // Journal of Aerosol Science. –2014. – 78. – P. 41–54.
2. Онищенко Г.Г. Организация надзора за оборотом наноматериалов, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека / Г.Г. Онищенко // Гигиена и санитария. – 2011. – № 2. – С. 4–9.
3. Горюнов В.А. Вопросы безопасности наноматериалов. Оценка рисков воздействия наноматериалов / В.А. Горюнов, А.М. Чуйков, Д.С. Плотников. // Комплексные проблемы техносферной безопасности: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 12 нояб. 2015 г. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т. – 2015. – Ч. 3. – С. 193–197.
4. Arora S. Nanotoxicology and in vitro studies – the need of the hour / S. Arora, J.M. Radjwade, K.M. Paknikar // Toxicology and applied pharmacology. – 2012. – V. 258. – P. 161.
5. Производство и применение наноматериалов (токсиколого-гигиенические проблемы) [Электронный ресурс] / Б.Н. Филатов, Л.И. Бочарова, В.В. Клаучек [и др.] // Биомедицинский журнал Medline.ru. / Том 16 (Серия «Фармакология») - Режим доступа: <http://www.medline.ru/public/art/tom16/art22.html>, свободный. – (дата обращения: 26.12.2018). – Загол. с экрана.
6. О влиянии наночастиц серебра на физиологию живых организмов / С.П. Зейналов, Д.В. Комбарова, М.А. Багров [и др.] // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. Том № 2016 (14/4, 43). – С. 42–51.
7. Уланова Т.С. Определение частиц микро- и нанодиапазона в воздухе рабочей зоны на предприятиях горнодобывающей промышленности / Т.С. Уланова, О.В. Гилева, М.В. Волкова // Анализ риска здоровью. – 2015. – № 4. – С. 44–48.
8. Леоненко Н.С. Сравнит анализ токсичности и опасности химических соединений различной размерности (обзор литературы) / Н.С. Леоненко // Современные проблемы токсикологии пищевой и химической безопасности. – 2016. – № 2 (74). – С.48–61.
9. Наноаэрозольная фракция в техногенной угольной пыли и ее влияние на взрывоопасность пылеметановоздушных смесей / А.М. Бакланов, С.В. Валиулин, С.Н. Дубцов [и др.] // ДАН. – 2015. – 461, №3. – С. 303–306.
10. Pietroiusti A. Engineered nanoparticles at the workplace: current knowledge about workers' risk / A. Pietroiusti, A. Magrini // Occup Med (Lond). – 2014. – 64(5). – P.319–330.
11. Hoet P.M. V. Nanoparticles – known and unknown health risks / P.M. Hoet, I. Bruske-Hohlfeld, O.V. Salata // Journal of Nanobiotechnology. –2004. –№ 2. –P. 12.
12. Sahoo S.K. The present and future of nanotechnology in human health care / S.K. Sahoo, S. Parveen, J.J. Panda //Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine. – 2007. – № 3. – P. 20–31.
13. Stern S.T. Nanotechnology safety concerns revisited / S.T. Stern, S.E. Mc.Neil // Toxicology science. – 2008. – № 101 (1). – P. 4–21.
14. Хамидулина Х.Х. Международные подходы к оценке токсичности и опасности наночастиц и наноматериалов / Х.Х. Хамидулина, Ю. О. Давыдова // Токсикологический вестник. – 2011. – № 6. – С. 53–57.
15. Sharpening the focus on occupational safety and health in nanotechnology /P. Schulte, C. Geraci, R. Zumwalde [et al.] //Scand. J. Work. Environ. Health. – 2008. – V. 34. – №.6. – P.471–478.
16. Государственная система обеспечения единства измерений. Дисперсный состав газовых сред. Определение размеров наночастиц методом диффузионной спектроскопии: ГОСТ Р 8.755-2011. – М.: Стандартинформ, 2012.
17. ДСТУ ISO 15011-1:2008. Охорона здоров'я та безпека у зварюванні та споріднених процесах. Лабораторний метод відбирання аерозолів і газів, утворюваних під час дугового зварювання. Частина 1. Визначення рівня виділень і відбір проб для аналізу мікрочастинок аерозолів. – [Чинний від 2008-08-15]. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 8 с.
18. Динаміка концентрації ультрадисперсних частинок при ручному зварюванні електродами / О.В. Демецька, О.Б. Леоненко, Т.Ю. Ткаченко, В.І. Супрун //Український Журнал з медицини праці. – 2012. – №1(29). – С. 3–7.
19. Аналіз потенційних ризиків при використанні нанотехнологій на робочих місцях з обслуговування електронно-променевої установки UE202 / О.В. Демецька, Т.Ю. Ткаченко, В.О. Мовчан [та ін.] // Український журнал з проблем медицини праці. – 2013. – № 2. – С. 44–49.
20. Демецька О. В. Порівняльна характеристика рівнів ризику для осіб, які мають професійний контакт із техногенними наночастинами / О.В. Демецька, І.М. Андрусишина, Т.Ю. Ткаченко// Український журнал з

- проблем медицини праці. – 2013. – 4(37). – С. 47–53.
21. Яворовский А.П. Физиолого-гигиеническая оценка условий труда оператора при синтезе нанокристаллического порошка диоксида хрома методом высокоэнергетической механоактивации / А.П. Яворовский, Н.В. Солоха, А.В. Демецкая, И.Н. Андрусишина // Проблемы здоровья и экологии. – 2017. – №2 (52) – [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://hdl.handle.net/GomSMU/3347>.
 22. Оцінка потенційного ризику при хімічному синтезі наночастинок сульфід кадмію / О.В. Демецька, Т.В. Козицька, І.М. Андрусишина, В.О. Мовчан, Т.Ю. Ткаченко, Г.Я. Гродзюк // Український журнал з проблем медицини праці. – 2014. – №4. – С. 51–56.
 23. Демецька О.В. Оцінка емісії наночастинок у повітря робочої зони при використанні сучасних стоматологічних матеріалів / О.В. Демецька, І.М. Андрусишина, К.Д. Копач // Медичний форум: наукове періодичне видання. – 2016. – № 8. – С. 64–67.
 24. Исследования наноразмерных частиц в составе промышленных аэрозолей и взвешенных веществ в воздухе рабочей зоны / Н.В. Зайцева, Т.С. Уланова, А.В. Злобина [и др.] // Токсикологический вестник. – 2017. – №1. – С.20–26.
 25. Уланова Т.С. Результаты оценки показателей, характеризующих наночастицы в воздухе рабочей зоны титанового производства / Т.С. Уланова, А.В. Злобина, Д.А. Шекурова // Медицина труда и промышленная экология. – 2013. – №11. – С. 37–41.
 26. Определение частиц нанодиапазона в воздухе рабочей зоны металлургического производства / Т.С. Уланова, М.В. Антипова, М.И. Забирова, М.В. Волкова // Анализ риска здоровью. – 2015. – № 1. – С. 77–80.
 27. Колесников Е.А. Исследование источников эмиссии наноаэрозолей в рабочей зоне научной лаборатории / Е.А. Колесников, А.Ю. Годымчук, Д.В. Кузнецов // Россия, Томск, 23 – 26 апреля 2013 наноматериалы и нанотехнологии. X международная конференция студентов и молодых ученых «перспективы развития фундаментальных наук» / Россия, Томск. – 2013. – С.911–913.
 28. ГОСТ Р 54597-2011/ISO/TR 27628:2007. – Воздух рабочей зоны. Ультрадисперсные аэрозоли, аэрозоли наночастиц и наноструктурированных наночастиц. Определение характеристик и оценка воздействия при вдыхании. – Москва. – Стандартинформ. – 2012.
 29. Жилинский Е.В. Нанотехнологии в здравоохранении: оценка рисков и стратегия безопасности / Е.В. Жилинский // Власть. – 2017. – Т. 25. – № 3. – С.79–86.

**ДИНАМІКА КОНЦЕНТРАЦІЙ НАНОРОЗМІРНИХ ЧАСТИНОК
У ПОВІТРІ РОБОЧОЇ ЗОНИ У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ**

О.Б. Леоненко, Н.С. Леоненко, О.В. Демецька

ДУ «Інститут медицини праці імені Ю.І. Кундієва НАМН України», м. Київ, Україна

РЕЗЮМЕ. У статті представлені особливості динаміки концентрацій нанорозмірних частинок у повітрі робочої зони при проведенні зварювальних робіт, які характеризуються в більшості випадків різким збільшенням їхньої емісії протягом перших хвилин після зварювання і зниженням її з неоднозначними коливаннями протягом 30 і більше хвилин, а також узагальнено дані щодо утворення наночастинок при різних виробничих процесах, пов'язаних з отриманням нанопродукції, концентрації яких можуть перевищувати рекомендовані в країнах ЄС рівні експозиції, що вимагає як вдосконалення технологічних процесів, так і розробки заходів безпеки при роботі з нанорозмірними об'єктами.

Ключові слова: наночастинки, зварювальні аерозолі, повітря робочої зони.

**CHANGES IN CONCENTRATIONS OF NANOPARTICLES IN WORKING AIR
UNDER PRODUCTION ENVIRONMENT OVER TIME**

N. S. Leonenko, A. V. Demetskaia, O. B. Leonenko

State Institution "Institute of Occupational Health named after Yu. I. Kundiev of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv

ABSTRACT. The article presents the peculiarities of changes of concentrations of nanoparticles in the working air during welding operations over time, which are characterized in most cases by a sharp increase in their emission during the first minutes after welding and reducing with ambiguous fluctuations within 30 minutes and over. Also, data on the formation of nanoparticles in various production processes associated with the production of nanoproducts, which concentrations may exceed the exposure levels recommended in the EU countries, which requires both the improvement of technological processes and the development of safety measures when working with nanoscale objects, have been summarized.

Keywords: nanoparticles, welding aerosols, working air.

Надійшла до редакції 15.03.2019 р.