

Как видно из данных таблицы 2, при сравнении ЛПП компонентов P1, N1 ДСВП в условиях ипсилатеральной стимуляции тоном 1 кГц существенной разницы в основной группе по сравнению с контрольной не отмечается ( $p > 0,05$ ). Однако наблюдалось достоверное ( $p < 0,01$ ) удлинение ЛПП компонента N2 ДСВП у рабочих «шумовых» профессий.

Так, в основной группе ЛПП N2 ДСВП составил  $284,2 \pm 3,1$  мс и был достоверно удлиненным по сравнению с контролем, где соответствующее значение БЫЛИ  $251,4 \pm 3,1$  мс.

Приведенные данные свидетельствуют, что у рабочих, которые испытывают шумовую нагрузку и воздействие сопутствующих факторов производственной среды, имеют место функциональные изменения в стволовых и корковых структурах слухового анализатора. Выявленные нарушения, очевидно, связаны с влиянием производственных факторов, в первую очередь, шума. Полученные нами данные подтверждаются рядом исследований, проведенных в других отраслях промышленности, в частности, машиностроительной и угольной [4, 6].

Полученные результаты углубляют наши знания о процессах, которые происходят в центральных отделах слухового анализатора при воздействии производственного шума, и будут способствовать повышению качества диагностики СНТ шумового генеза у работников пищевой промышленности, а также эффективности проведения лечебно-профилактических мероприятий.

#### Выводы

1. Установлено, что ведущим вредным производственным фактором на рабочих местах операторов по розливу безалкогольных и слабоалкогольных напитков является постоянный широкополосный шум с превышением ПДУ на средних и высоких частотах (500–8000 Гц.). По уровням шума на отдельных рабочих местах (превышение допустимого уровня на 1–11 дБА) условия труда этих работников относятся к классам условий труда 3.1 (вредные 1-й степени) и 3.2 (вредные 2-й степени).

2. По данным КСВП установлены нарушения в стволовых структурах слухового анализатора у рабочих «шумовых» профессий, на что указывает достоверное увеличение в них ЛПП V волны и МПИ I–V КСВП по сравнению с контролем ( $p < 0,01$ ). Это свидетельст-

вует о дисфункции центральных, в частности, стволовых структур слухового анализатора у обследованных работников.

3. У работников «шумовых» профессий, по данным ДСВП, наблюдается достоверное ( $p < 0,01$ ) удлинение ЛПП компонента N2 ДСВП по сравнению с контрольной группой. Это свидетельствует о функциональных нарушениях в корковых структурах слухового анализатора у обследованных лиц.

4. Полученные данные о функциональном состоянии центральных отделов слухового анализатора углубляют научные представления о патогенезе профессиональной СНТ и могут быть практически применены при проведении профилактических медицинских осмотров, решении вопросов трудовой экспертизы работников «шумовых» профессий и проведении лечебно-профилактических мероприятий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кундиев, Ю. И. Профессиональное здоровье в Украине. Эпидемиологический анализ / Ю. И. Кундиев, А. М. Нагорная. — К.: Авиценна, 2007. — 396 с.
2. Диференціальна діагностика порушень слуху та експертиза працездатності осіб «шумових» професій: метод. рекомендації / Д. І. Заболотний [та інш.]. — К. Ін-т оториноларингології ім. О. С. Коломійченка, 2011. — 36 с.
3. Панкова, В. Б. Тугоухость у работников транспорта / В. Б. Панкова // Российская оториноларингология. Приложение № 2. — 2010. — С. 59–65.
4. Шидловська, Т. А. Показатели коротколатентных слуховых вызванных потенциалов у рабочих различных профессиональных групп угольной промышленности / Т. А. Шидловская, В. А. Гвоздецкий // Российская оториноларингология. — 2015. — № 3 (76). — С. 146–150.
5. Шидловська, Т. В. Сенсоневральна приглухуватість / Т. В. Шидловська, Д. І. Заболотний; Т. А. Шидловська. — К.: Логос, 2006. — 779 с.
6. Гігієнічна оцінка шуму на робочих місцях і характеристика початкових порушень в слуховому аналізаторі у працівників «шумових» професій авіаційного машинобудування / О. П. Яворовський [та інш.] // Український журнал з проблем медицини праці. — 2008. — № 3 (5). — С. 63–70.
7. Effect of daily noise exposure monitoring on annual rates of hearing loss in industrial workers / P. M. Rabinowitz [и др.] // Occup Environ Med. — 2011. — Vol. 68(6). — P. 414–418.
8. Thurston, F. E. The worker's ear: a history of noise-induced hearing loss / F. E. Thurston // Am J Ind Med. — 2013. — Vol. 56(3). — P. 367–377.
9. Гнездитский, В. В. Опыт применения вызванных потенциалов в клинической практике / В. В. Гнездитский, А. М. Шамшинова. — М.: Медицина, 2001. — 473 с.
10. Зенков, Л. Р. Функциональная диагностика нервных болезней / Л. Р. Зенков, М. А. Ронкин. — М.: Медпресс-информ, 2004. — 488 с.
11. Auditory evoked response to gaps in noise: Older adults / J. J. Lister [et al.] // International Journal of Audiology. — 2011. — № 50. — P. 211–225.

Поступила 14.03.2017

УДК 613.6:541.4-022.513.2

### ФИЗИОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА ОПЕРАТОРА ПРИ СИНТЕЗЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА ДИСИЛИЦИДА ХРОМА МЕТОДОМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНОАКТИВАЦИИ

А. П. Яворовский<sup>1</sup>, Н. В. Солоха<sup>1</sup>, А. В. Демецкая<sup>2</sup>, И. Н. Андрусичина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный медицинский университет имени А. А. Богомольца, г. Киев, Украина

<sup>2</sup>Институт медицины труда НАМН Украины», г. Киев, Украина

**Цель:** провести физиолого-гигиеническую оценку условий труда операторов, занятых изготовлением нанопорошков дисилицида хрома методом высокоэнергетической механоактивации, разработать профилактические рекомендации.

**Материал и методы.** Объект исследования — технологический процесс получения нанокристаллического порошка дисилицида хрома в планетарной шаровой мельнице. С использованием общепринятых психофизиологических, гигиенических и хронометражных методов исследования проводилась гигиеническая оценка технологического процесса, технологического оборудования и психофизиологическая оценка условий труда оператора. Концентрацию наночастиц в воздухе рабочей зоны измеряли с помощью диффузионного аэрозольного спектрометра ДАС-2702 («Аэронанотех», Россия), размер частиц нанопорошка определяли с помощью прибора Analysette 12 DynaSizer («Fritsch», Германия), а химический состав проб воздуха — методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП) с помощью прибора «Ortima 2100 DV» («Perkin-Elmer», США).

**Результаты.** Впервые установлено, что процесс механоактивации сопровождается эмиссией в воздух рабочей зоны наноразмерного хрома, который не обнаруживался до начала работы. Фоновая общая концентрация наночастиц в основном помещении, где производится выгрузка готовой продукции, была в 1,6–1,9 раз выше таковой в воздухе рабочей зоны планетарной мельницы и превышала тестовые уровни, рекомендованные в европейских странах для наноматериалов.

**Заключение.** Основными вредными факторами при получении нанопорошка дисилицида хрома методом механоактивации являются наличие наночастиц металлов в воздухе рабочей зоны и напряженность труда. Предложены гигиенические рекомендации, которые направлены на совершенствование конструкции установки для высокоэнергетической механоактивации, в частности, на обеспечение герметичности, уменьшение ручных рабочих операций, на применение визуальной и звуковой сигнализации по ходу технологического процесса.

**Ключевые слова:** нанопорошок дисилицида хрома, условия труда, механосинтез.

## THE PHYSIOLOGICAL AND HYGIENIC EVALUATION OF THE OPERATOR'S WORKING CONDITIONS IN THE SYNTHESIS OF CHROMIUM DISILICIDE NANOCRYSTALLINE POWDERS BY HIGH-ENERGETICAL MECANOACTIVATION METHOD

A. P. Yavorovskiy<sup>1</sup>, N. V. Solokha<sup>1</sup>, O. V. Demetskaya<sup>2</sup>, I. M. Andrusishina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bogomolets National Medical University, Kiev

<sup>2</sup>Institute for Occupational Health of NAMS of Ukraine», Kiev

**Objective:** to carry out the physiological and hygienic evaluation of the working conditions of operators producing chromium disilicide nanopowders by high-energetical mechanoactivation method and to develop the preventive recommendations.

**Material and methods.** The object of research was the technological process of producing nanocrystalline chromium disilicide powder within a planetary ball mill. The hygienic assessment of the technological process, technological equipment and psycho-physiologic evaluation of the working environment of the operators were carried out using the generally accepted psychophysiological, hygienic, and chronometer methods of study. The concentration of nanoparticles in the working area was measured using the diffusion aerosol spectrometer DAS-2702 («Aeronanoteh», Russia), the nanopowder particle size was measured by the device Analysette 12 DynaSizer («Fritsch», Germany), the chemical composition of air samples was determined by atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-AES) using the device «Ortima 2100 DV» («Perkin-Elmer», USA).

**Results.** It was found out for the first time that the mechanical activation process was accompanied by emission of nano-sized chromium into the air of the working area, which had not been detected before the beginning of the work. The total concentration of nanoparticles in the main room was 1.6–1.9 times higher than that in the working area of the planetary ball mill and exceeded the test levels recommended for nanomaterials in European countries.

**Conclusion.** The basic adverse factors in case of producing nanopowder of chromium disilicide by mechanoactivation method are presence of nanoparticles of metals in the workplace air and intensity of work. We have proposed hygienic recommendations which are aimed at improving the plant design for the high-energy mechanical activation in the direction of ensuring tightness, reduction of manual work operations, audible and visual signaling during the technological process.

**Key words:** nanopowder chromium disilicide, working conditions, mechanosynthesis.

### Введение

В последнее время благодаря уникальным физико-химическим свойствам все более широкое применение находят наночастицы металлов и их химических соединений. В частности, это относится к наноразмерному серебру, титанату бария, диоксиду циркония, нитриду титана и др. [1–5]. Перспективными для применения в условиях высоких температур, скоростей, механических нагрузок, агрессивных сред являются материалы, изготовленные с ис-

пользованием дисилицида хрома [6]. Сегодня он является одним из наиболее интенсивно исследуемых (в технологических и технических аспектах) полупроводниковых силицидов переходных металлов.

Гигиеническая оценка, проведенная нами ранее, показала, что операторы, занятые синтезом нанопорошков металлов (серебра, титаната бария, силицидов молибдена хрома, тантала и др.), подвержены влиянию пылевых частиц ультра- и наноразмерного диапазона, а также сопутст-

вующих факторов, в частности, производственного шума и переменного микроклимата, а их работа характеризуется определенной степенью тяжести и напряженности [8–10]. Материалы в наноразмерном состоянии (наночастицы серебра, золота, меди, цинка, железа, титана и их оксидов) проявляют высокую биологическую активность по сравнению с их аналогами в макроформе [11, 13].

Вместе с тем сведения об изучении физиолого-гигиенических условий труда, оценке потенциального и реального риска воздействия наночастиц на здоровье операторов, занятых синтезом наноразмерного дисилицида хрома методом высокоэнергетической механоактивации, в научных публикациях не представлены.

#### **Цель исследований**

Провести физиолого-гигиеническую оценку условий труда операторов, занятых изготовлением нанопорошков дисилицида хрома методом высокоэнергетической механоактивации, и разработать профилактические рекомендации.

#### **Материал и методы**

Объектом исследования служил технологический процесс синтеза нанокристаллического порошка дисилицида хрома, который осуществляется оператором на планетарной шаровой мельнице. Психофизиологическую оценку труда оператора, гигиеническую оценку технологического процесса, производственного оборудования, вредностей и опасностей на рабочем месте проводили с использованием общепринятых психофизиологических, хронометражных и гигиенических методов исследования на основании действующих гигиенических нормативов [12].

Параметры микроклимата и освещения изучали общепринятыми гигиеническими методами. Измерения уровней шума на рабочем месте проводили с помощью прецизионного интегрирующего прибора «Larson Davis 800 В».

Отбор проб воздуха для определения содержания ультрадисперсных и наночастиц металлов осуществляли на поливинилпирролидоновые нанофильтры, изготовленные в лаборатории наноструктур и нанотехнологий Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН [9].

Концентрацию наночастиц в воздухе рабочей зоны определяли на диффузионном аэрозольном спектрометре ДАС-2702 («Аэронанотех», Россия). Размер частиц нанопорошка измеряли с помощью прибора Analysette 12 DynaSizer («Fritsch», Германия). Для оценки индивидуальных размеров и формы пылевых частиц использовали метод электронной микроскопии (микроскоп JEM100 CX II (Япония)).

Пробы воздуха отбирали в поглотитель Зайцева, содержащий 10 мл деионизированной воды пробоотборником Тайфун Р-20-2 с объемным расходом 0,5 л/мин. Отобранную

пробу отфильтровывали с помощью шприца, к которому присоединен фильтродержатель с мембранным дисковым фильтром «Domnick Hunter» (Великобритания) диаметром 25 мм и размером пор 100 нм (для разделения наночастиц на фракции по размерам).

Содержание химических элементов в отобранных пробах воздуха изучали методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП) с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра «Optima 2100 DV» («Perkin-Elmer», США) [13].

Расчет ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) для определенных веществ в ультрадисперсном состоянии осуществляли с помощью коэффициентов, рекомендованных Британским Институтом Стандартов [14], и методических рекомендаций «Гигиеническое нормирование и контроль наноматериалов в производственной среде» [15].

Оценку вредности и опасности, а также тяжести и напряженности труда оператора проводили в соответствии с действующими нормативами [12].

Полученные результаты исследований статистически обрабатывали методами вариационной статистики с использованием пакета программ Microsoft Excel.

#### **Результаты и обсуждение**

Технология высокоэнергетической механоактивации нанокристаллических порошков тугоплавких соединений металлов необходимой дисперсии разработана в лаборатории физико-химии и технологии нанокерамики и нанокompозитов Института проблем материаловедения имени И. Н. Францевича НАН Украины. Для реализации этой технологии ее авторами была использована планетарная шаровая мельница «Лаир».

При проведении инструментальных исследований параметров микроклимата на рабочем месте оператора, занятого получением нанопорошка дисилицида хрома, было установлено, что средняя температура воздуха на рабочем месте возле рабочего стола составляла  $18,8 \pm 0,4$  °С, относительная влажность —  $40,5 \pm 2,5$  %, а скорость движения воздуха колебалась в пределах от 0,05 до 0,08 м/с. Фактическая температура воздуха на рабочем месте оператора и относительная влажность не превышали допустимых значений, а скорость движения воздуха была ниже допустимого значения.

Измерение производственного шума показало, что его общий уровень составлял 92,6 дБА и превышал допустимую величину на 17,6 дБА. Превышение уровня звукового давления в октавных полосах фиксировалось при средних и высоких частотах. Однако следует отметить, что оператор, обслуживающий установку «Ла-

ир», только время от времени подвергается воздействию указанного шума, а именно во время периодических отключений установки для предупреждения ее перегрева.

Согласно действующим гигиеническим нормативам [12], условия труда оператора планетарной шаровой мельницы по микроклиматическим показателям и шумовым нагрузкам соответствуют классу 2, то есть допустимым.

Поскольку технологический процесс получения нанопорошков методом высокоэнергетической механоактивации относится к нанотехнологиям, считалось целесообразным провести оценку состояния воздуха рабочей зоны с использованием современных подходов и методов, определяющих нанобезопасность на рабочем месте. В частности, с помощью диффузионного аэрозольного спектрометра определить общую фоновую концентрацию частиц от 1 до 100 нм в помещении, где расположена планетарная шаровая мельница, и в основном помещении, где происходит выгрузка готовой продукции; а также в режиме реального времени прове-

ти измерения концентрации наночастиц в воздухе рабочей зоны при работе планетарной шаровой мельницы и при выгрузке наноматериалов.

В помещении, где осуществляется механосинтез, фоновый уровень частиц размером от 1 до 100 нм колебался в пределах 27180–30369 частиц/см<sup>3</sup>. После начала процесса механосинтеза общая концентрация наночастиц находилась в пределах 33000–35000 частиц/см<sup>3</sup>.

Следует отметить, что фоновая общая концентрация в основном помещении в 1,6–1,9 раз выше таковой в воздухе рабочей зоны планетарной мельницы и составляет около 50000 частиц/см<sup>3</sup>. В общем процесс выгрузки характеризуется колебаниями общей концентрации частиц 0–100 нм в пределах 44000–52000 частиц/см<sup>3</sup>, что превышает тестовые уровни, рекомендованные в европейских странах для наноматериалов (20000–40000 частиц/см<sup>3</sup>) [14].

Также было проанализировано пофракционное распределение частиц от 0 до 100 нм в воздухе рабочей зоны на различных этапах технологического процесса (таблица 1).

Таблица 1 — Пофракционное распределение частиц в нанодиапазоне 0–100 нм

Этап технологического процесса	Количество частиц по фракциям, (частиц/см <sup>3</sup> ) в диапазоне 0–100 нм						
	0–5	5–10	10–15	1–20	20–25	25–30	30–100
До начала механосинтеза (помещение для работы мельницы, фоновый уровень)	132	184	1566	2946	3339	3154	2775
Процесс механосинтеза (помещения для работы мельницы)	422	576	4000	4000	3000	3000	664
До начала выгрузки (основное помещение, фоновый уровень)	271	3199	7118	7028	5858	4709	3784
Выгрузка готовой продукции (основное помещение)	1593	6000	9000	7000	6000	5000	481

Анализ пофракционного распределения частиц в нанодиапазоне (0–100 нм) в процессе механосинтеза показал, что количество наночастиц отдельных фракций (0–5 нм, 5–10 нм, 10–15 нм ... 95–100 нм) остается почти неизменным в течение всего срока измерений, но отличается от фоновых значений (в частности, во фракциях 0–5, 5–10, 10–15 нм) (таблица 1). При этом наиболее многочисленными были фракции 10–15 нм — около 4000 частиц/см<sup>3</sup>; 15–20 нм — около 4000 частиц/см<sup>3</sup>; 20–25 нм — 3000–4000 частиц/см<sup>3</sup>; 25–30 нм — около 3000 частиц/см<sup>3</sup>. Наименьшее количество частиц наблюдалась во фракции размером 0–5 нм — 342 частицы/см<sup>3</sup> и во фракции 5–10 нм — до 2576 частиц в см<sup>3</sup>. Начиная с тридцатинанометрового размера, количество наночастиц в каждой фракции было меньше по сравнению с предыдущей.

Согласно данным пофракционного распределения наночастиц, в период выгрузки готовой продукции наибольшее количество частиц зафиксированно во фракциях 5–10 нм —

до 6000 частиц/см<sup>3</sup>; 10–15 нм — до 9000 частиц/см<sup>3</sup>; 15–20 нм — до 7000 частиц/см<sup>3</sup>; 20–25 нм — до 6000 частиц/см<sup>3</sup>; 25–30 нм — до 5000 частиц/см<sup>3</sup>. Наименьшее количество частиц наблюдалась во фракции размером 0–5 нм — 1593 частицы/см<sup>3</sup>. При этом также отмечено увеличение количества наночастиц во фракциях 0–5, 5–10, 10–15 нм по сравнению с фоном.

В пробах воздуха, отобранных в помещении, где расположена планетарная мельница, были выявлены следующие металлы в наноразмерном состоянии (менее 100 нм): хром и кремний (таблица 2). Следует отметить, что процесс механосинтеза сопровождается эмиссией в воздух рабочей зоны наноразмерного хрома, который не обнаруживался до начала производственного процесса. Концентрация наноразмерного кремния увеличилась почти втрое по сравнению с фоновыми значениями.

Как видно из данных таблицы 2, концентрация наноразмерных металлов не превышает расчетные значения ОБУВ р.з. для наноматериалов.

Таблица 2 — Химический состав воздуха рабочей зоны при работе планетарной мельницы и в процессе выгрузки готовой продукции (мг/м<sup>3</sup>)

Элемент	Фон (в помещении)	Работа планетарной мельницы	Выгрузка готовой продукции	ОБУВ* р.з.
Cr	—**	0,0005 ± 0,00001	—**	0,001
Si	0,015 ± 0,0003	0,044 ± 0,001	—**	0,1

\* — расчетное значение [15]; \*\* — вещество не определено

Принимая во внимание протянутые через поливинилпирролидоновые фильтры объемы исследуемого воздуха при отборе проб, было рассчитано ориентировочное среднее количество наночастиц в 1 см<sup>3</sup>. По завершении процесса помола материала в воздухе рабочей зоны оно составляло  $3,6 \times 10^5$  в 1 см<sup>3</sup>, а при выполнении последующих производственных операций по удалению помолотого материала

с барабанов количество наночастиц составило  $(3,8-3,5) \times 10^4$  см<sup>3</sup>. На основании полученных результатов были рассчитаны массовая концентрация — 5,35 мкг/м<sup>3</sup> и суммарная площадь поверхности наночастиц —  $1,33 \times 10^9$  нм<sup>2</sup>/см<sup>3</sup> [9].

С помощью метода электронной микроскопии были установлены форма и размер отдельных наночастиц порошка дисилицида хрома и его конгломератов.

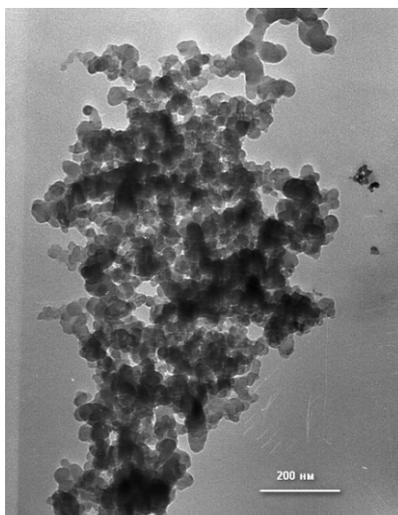


Рисунок 1 — Электронограмма наночастиц дисилицида хрома. Увеличение  $\times 40000$ ; проекционное увеличение  $\times 144000$

Как видно на рисунке 1, размер основного количества пылевых частиц составляет 45–54 нм, они имеют округлую форму и способны к образованию конгломератов размерами от 150–200 нм до 1000 нм. Для подтверждения данных электронограммы было проведено измерение полученного

нанопорошка на приборе Analysette 12 DynaSizer (диапазон измерений 1–6000 нм) (рисунок 2).

Установлено, что диапазон размера наночастиц дисилицида хрома (по их количеству) колеблется в пределах от 26 до 117 нм, при этом средний размер частиц составлял 54 нм.

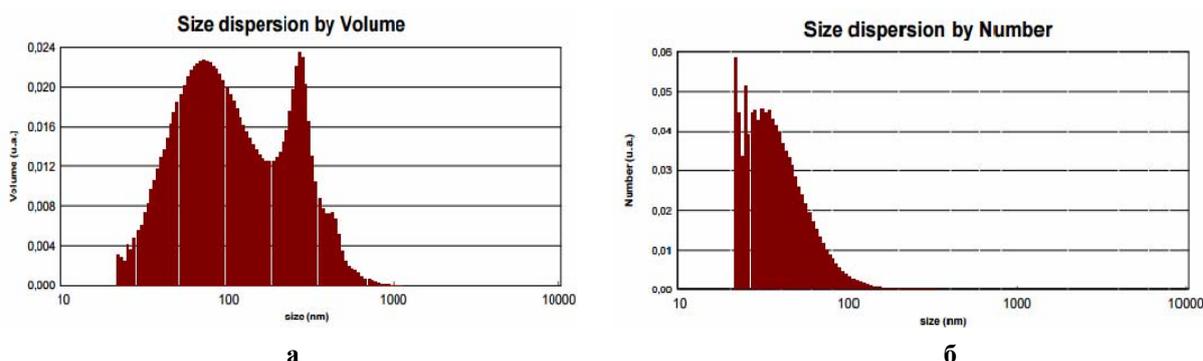


Рисунок 2 — Дисперсия нанопорошка дисилицида хрома по данным наносайзометрии: а — диапазон размера наночастиц по объему; б — диапазон размера наночастиц по их количеству

Таким образом, получение нанопорошка дисилицида хрома методом высокоэнергетической механоактивации сопровождается незначительной эмиссией в воздух рабочей зоны наночастиц (0–100 нм), в частности, хрома и кремния в наноразмерном состоянии (< 100 нм).

При исследовании тяжести и напряженности труда работников установлено, что технологический процесс высокоэнергетической механоактивации ультрамикроскопических порошков тугоплавких металлов многостадийный и требует выполнения ручных операций. Управляет им оператор дистанционно из рабочей комнаты с помощью органа управления — кнопки и средства отображения информации — стрелочного прибора.

Рабочие операции начинаются с осмотра состояния самой установки и места установления барабанов на диск, загрузки исходных продуктов для помола. Продолжительность этих работ составляет 40 мин. При этом оператор выполняет до 400–500 рабочих движений с участием мышц рук и плечевого пояса. Трудовые операции одного цикла получения готовой продукции предусматривают контроль 7-минутного периода работы установки с 3-минутным перерывом для охлаждения прибора. Получение готовой продукции включает 15 циклов общей продолжительностью 150 минут. В течение рабочей смены оператор выполняет 2 полных цикла по получению готовой продукции.

Хронометражным наблюдением и изучением организации трудового процесса установлено, что подготовительно-заключительные работы занимают 2,7 % рабочего времени, продолжительность оперативной работы — 86,1 %. Плотность загрузки рабочего времени составляет 91,7 %.

Изучение показателей физической нагрузки позволило установить, что оператор за один рабочий цикл 6 раз переносит барабаны массой 3 кг на расстояние 253,5 м. Всего за рабочую смену — 12 раз. Общая физическая динамическая нагрузка составляет 9126 кг/м. При выполнении этих операций оператор осуществляет до 2000 стереотипных рабочих движений с участием мышц рук и плечевого пояса за рабочую смену. Перемещение по горизонтали в пространстве рабочей зоны протяженностью 807 м, а также в пространстве вспомогательных рабочих помещений составляет 1500 м. Пребывание в рабочей позе — стоя при управлении технологическим процессом из комнаты управления составляет 25 % рабочего времени.

Изучение показателей напряженности труда показало, что выполнение основных операций технологического процесса требует от оператора сосредоточенного наблюдения и напряжения внимания в течение 58,3 % рабочего времени. Плот-

ность сигналов, на которые реагирует оператор, составляет 7,5 сигналов за час работы. Имеет место эмоциональная нагрузка в процессе контроля своевременного включения и выключения установки, особенно за своевременностью и продолжительностью охлаждения механизма. Оператор несет ответственность за функциональное качество выполнения основной работы с высокой значимостью ошибки, поскольку ошибки требуют исправлений с привлечением дополнительных усилий всего коллектива. Режим работы оператора определяется длительностью рабочего дня и составляет при односменной работе 6 часов.

Таким образом, основными показателями тяжести труда оператора являются внешняя физическая динамическая нагрузка, при общей нагрузке (с участием мышц, туловища, ног) стереотипные рабочие движения и перемещения в пространстве. А основным показателем напряженности — длительность сосредоточения внимания, плотность сигналов и сообщений, а также эмоциональная нагрузка.

Труд оператора по критериям действующих санитарных норм и правил «Гигиеническая классификация труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса» по тяжести соответствует 2-му классу, допустимому (средней тяжести), а по напряженности — к классу 3.1. напряженная работа, 1-й степени.

Основными вредными факторами при получении нанопорошка дисилицида хрома являются наличие наночастиц металлов в воздухе рабочей зоны и напряженность труда. В связи с тем, что влияние нанопорошков на организм изучено недостаточно, необходимо проведение гигиенических и санитарно-технических мероприятий по предупреждению попадания наночастиц в воздух рабочей зоны, изучение их токсикологических особенностей и влияния на организм человека. Отсутствуют также обоснованные гигиенические нормативы содержания наночастиц в воздухе рабочей зоны. Поэтому на данном этапе мы придерживаемся высказанного нами ранее предложения осуществлять гигиеническую оценку условий труда при работе с подобными наноматериалами с использованием принципа потенциальной опасности и априори относить их к высшей степени вредности [7]. Целесообразным также является совершенствование конструкции установки для высокоэнергетической механоактивации в направлении обеспечения герметичности, уменьшения ручных рабочих операций, визуальной и звуковой сигнализации по ходу технологического процесса.

#### **Выводы**

1. Технологический процесс получения нанопорошка дисилицида хрома методом вы-

сокоэнергетической механоактивации характеризуется возможным влиянием на работающих наночастиц дисилицида хрома и кратковременным действием производственного шума. Другие исследованные факторы соответствуют допустимым гигиеническим нормативам.

2. Установлено, что в процессе механосинтеза общая концентрация наночастиц составляла 33000–35000 частиц/см<sup>3</sup>, а в процессе выгрузки готовой продукции — до 44000–52000 частиц/см<sup>3</sup> дисилицида хрома, превышая уровни, рекомендованные в европейских странах для таких наноматериалов (20000–40000 частиц/см<sup>3</sup>).

3. Средняя концентрация пылевых частиц в воздухе рабочей зоны в процессе механосинтеза составляет  $3,6 \times 10^5$  в 1 см<sup>3</sup>, а при завершении помола —  $3,8\text{--}3,5 \times 10^4$  см<sup>3</sup>. Массовая концентрация и суммарная площадь поверхности наночастиц при расчетах составляли, соответственно, 5,35 мкг/м<sup>3</sup> и  $1,33 \times 10^9$  нм<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>.

4. С помощью электронной микроскопии при отборе проб воздуха на водорастворимые поливинилпирролидоновые наночастицы было определено, что большинство наночастиц имеет размер около 45–54 нм, округлую форму, способность к образованию конгломератов размерами от 150 до 1000 нм.

5. В результате химического анализа в отобранных пробах воздуха с помощью атомно-адсорбционного спектрофотометра обнаружены наноразмерные хром и кремний в концентрациях, не превышающих расчетные значения ОБУВ р.з. для наноматериалов.

6. Тяжесть и напряженность труда оператора в соответствии с действующими в Украине критериями санитарных норм и правил «Гигиеническая классификация труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса» оценивается по тяжести — классом 2 допустимый (средней тяжести) и по напряженности — классом 3.1 (напряженная работа, 1-й степени).

7. На основании проведенных исследований предложены гигиенические рекомендации, направленные на совершенствование конструкции установки для высокоэнергетической механоактивации, в частности, на обеспечение

ее герметичности, уменьшение числа и продолжительности ручных операций, контроль технологического процесса посредством визуальной и звуковой сигнализации.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оцінка потенційного ризику при хімічному синтезі наночастинок сульфід кадмію / О. В. Демецька [та інш.] // Український журнал з проблем медицини праці. — 2014. — № 4 (41). — С. 51–55.
2. 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.
3. Tkachenko, A. K. Monitoring the content of toxicants in the air / A. K. Tkachenko // J. of the Scientific Publications. — 2015. — Vol. 9. — P. 232–236.
4. Експериментальне вивчення токсичної дії потенційних лікарських засобів / В. М. Коваленко [та інш.] // Доклінічні дослідження лікарських засобів: методичні рекомендації: за ред. О. В. Стефанова. — Київ: ВД «Авіцена», 2011. — С. 74–97.
5. Андрусишина, И. Н. Наночастицы металлов: способы получения, физико-химические свойства, методы исследования и оценка токсичности (Обзор) / И. Н. Андрусишина // Современные проблемы токсикологии. — 2011. — № 3 (53). — С. 333–342.
6. Нанотехнологии высокотемпературного электрохимического синтеза и металлургии в основе получения дисилицида хрома / В. В. Мальшев [и др.] // 36. наук. пр. ВАГ «Укр НДІ Вогнетривів ім. А. С. Бережного». — 2010. — Вип. 110. — С. 333–342.
7. Гігієнічні проблеми оцінки ризиків для людини та довкілля від сучасних нанотехнологій та наноматеріалів / О. П. Яворовський [та інш.] // Гігієнічна наука та практика: сучасні реалії: матер. XV з'їзду гігієністів України. — Львів, 2012. — С. 439–440.
8. Фізіолого-гігієнічна оцінка умов праці операторів при одержанні наночастинок срібла за допомогою електронно-променевої технології / О. П. Яворовський [та інш.] // Журн. Акад. мед. наук України. — 2009. — № 3. — С. 543–554.
9. Методичні підходи до гігієнічного контролю за вмістом наночастинок у повітрі робочої зони при отриманні силіцидів металів методом високоенергетичної механоактиваци / О. П. Яворовський [та інш.] // Журнал Національної Академії Медичних Наук України. — 2012. — Т. 18, № 1. — С. 126–131.
10. Фізіолого-гігієнічна характеристика умов праці при виробництві нанокристалічного порошку титанату барію методом безперервного термічного синтезу / О. П. Яворовський [та інш.] // Укр. журн. з проблем медицини праці. — 2011. — № 1. — С. 28–34.
11. Чекман, І. С. Нанонаука в Україні: до проблеми дослідження (історичний аспект і сучасні проблеми) / І. С. Чекман // Сучасні проблеми токсикології. — 2011. — № 1–2. — С. 16–21.
12. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». ДСН № 248. — 2014. — 37 с.
13. Визначення 33 елементів методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою у воді. ДСТУ ISO 11885: 1996. — К. Держспоживстандарт України, 2007. — 14 с.
14. BSI-British Standards, Nanotechnologies — Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials. — PD 6699-2. — 2007.
15. Методичні рекомендації «Гігієнічне нормування та контроль наноматеріалів у виробничому середовищі» / уклад.: Ю. І. Кундів [та інш.]. — Київ, 2016. — 18 с.

Поступила 14.03.2017

УДК 614.876

## БЕСХОЗНЫЙ ИСТОЧНИК ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ КАК ФАКТОР НАРУШЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Т. И. Халапсина

Гомельский государственный медицинский университет

**Цель:** оценить угрозу радиационной безопасности населения и окружающей среде Республики Беларусь на основе анализа информации об обнаружении бесхозных источников ионизирующих излучений за 2003–2015 гг.

**Материалы и методы.** В работе применен метод кластерного анализа, позволивший систематизировать и проанализировать оперативную информацию Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь об обнаружении бесхозных источников ионизирующего излучения на территории страны.