

Луценко Л.А., Гвоздева Л.Л., Татянюк Т.К.

## ИНФОРМАТИВНОСТЬ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО УЧЁТА РАЗМЕРОВ ТВЁРДЫХ ЧАСТИЦ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ ПЫЛЕВЫХ ПРОФЕССИЙ И НАСЕЛЕНИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи Московской обл.

*Вредное воздействие повышенной запылённости воздуха на работающих и на население является одной из актуальных проблем текущего времени и требует реализации более эффективных мер профилактики рисков здоровью. Профессиональная патология органов дыхания пылевых профессий по-прежнему остается основной в структуре профзаболеваний. Проведённые нами исследования на одном из крупных металлургических комбинатов страны показали высокий профессиональный риск здоровью работников, обусловленный воздействием аэрозолей (17,19‰). На долю профессиональных болезней органов дыхания приходилось 75% всех случаев профпатологии. Данные анализа с ЗВУТ свидетельствовали об очень высоком ( $Wi^d > 3$ ) или высоком ( $Wi^d = 2,0 - 3,0$ ) непосредственном эпидемиологическом риске обострений хронических заболеваний лёгких и пневмоний, отмечаемых в цехах с преимущественным воздействием аэрозолей конденсации. Тогда как в производстве с преобладанием в витающей пыли аэрозолей дезинтеграции  $Wi^d = 1,0-2,0$ . В последнее время все большую актуальность приобретают мелкодисперсные частицы, в том числе наночастицы (НЧ), отличающиеся особыми физико-химическими свойствами и воздействием на биологические структуры, в т. ч. и на человека. Для оценки потенциальной опасности аэрозольных частиц для здоровья работающих и населения недостаточно знаний дисперсного состава витающей в воздухе пыли, а необходимо знать вдыхаемую фракцию, т. е. массовую долю всех взвешенных частиц в воздухе, которые вдыхаются через нос или рот, а также преимущественную область их отложения в дыхательных путях человека. Многочисленные эпидемиологические исследования проведены и в нашей стране по изучению влияния взвешенных частиц ( $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ ) на население, что послужило основанием для разработки отечественных гигиенических нормативов и методов контроля. Обоснованы рекомендации, ориентированные на раздельный учет массы витающих и вдыхаемых частиц для более эффективной защиты здоровья работников пылевых профессий.*

**Ключевые слова:** гигиеническое нормирование аэрозолей с твёрдой дисперсной фазой; вредные эффекты действия взвешенных частиц (ВЧ10, ВЧ2,5); вдыхаемые фракции; наноаэрозоли; приборы контроля аэрозоля по массе витающих и вдыхаемых частиц.

**Для цитирования:** Луценко Л.А., Гвоздева Л.Л., Татянюк Т.К. Информативность дифференцированного учёта размеров твёрдых частиц в воздушной среде для защиты здоровья работников пылевых профессий и населения (обзор литературы). Гигиена и санитария. 2018; 97(6): 514-519. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-6-514-519>

**Для корреспонденции:** Луценко Лидия Александровна, доктор мед. наук, проф., зав. отд. медицины труда Института комплексных проблем гигиены ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора. E-mail: [lidasmed@mail.ru](mailto:lidasmed@mail.ru)

Lutsenko L.A., Gvozdeva L.L., Tatyanyuk T.K.

## INFORMATIVITY OF THE DIFFERENTIATED ACCOUNT OF SIZES OF SOLID PARTICLES IN THE AIR ENVIRONMENT FOR THE PROTECTION OF THE HEALTH OF EMPLOYEES OF DUST PROFESSIONS AND THE POPULATION (REVIEW OF THE LITERATURE DATA)

F.F. Erisman of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 141014, Mytishchi, Russian Federation

*Harmful effects of the increased dust content in the air on working sites and the population are one of the current problems of the current time and demand realization of more effective measures of the prevention of risks to health. Professional pathology of respiratory organs of employees of dust professions still remains the main in the structure of occupational diseases. The research conducted by us at one of large iron and steel plant of the country have shown the high professional risk to the health of workers exposed to aerosols (17.19‰). 75% of all cases of professional pathology fell to the share of occupational diseases of respiratory organs. Data of the analysis of the morbidity with temporary disability records testified about very high ( $Wi^d > 3$ ) or high ( $Wi^d = 2.0-3.0$ ) direct epidemiological risk of exacerbations of chronic diseases of the lungs and pneumonia noted in shops with the primary influence of aerosols of condensation. Whereas in production with prevalence in the soaring dust of aerosols of disintegration  $Wi^d = 1.0-2.0$  recently the increasing relevance is acquired by fine particles, including – the nanoparticles differing in special physical and chemical characteristics and impact on biological structures including the human body. For the assessment of the potential danger of the aerosol particles to health working and the population there isn't enough knowledge of dispersing composition of the dust soaring in air; and it is necessary to know the inhaled fraction, i.e. a mass fraction of all weighed particles in air which are inhaled through a nose or a mouth and also – the major area of their sedimentation in airways of the person. In our country, there are performed numerous epidemiological investigations devoted to the studying of the influence of the weighed particles ( $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$ ) on the population that has formed the basis for the development of domestic hygienic standards and control methods. The recommendations focused on*

*the separate accounting of mass of the soaring and inhaled particles for more effective protection of the health of workers of dust professions are proved.*

**Key words:** *hygienic normalization of aerosols with a solid disperse phase; harmful effects of suspended particles ( $HF_{10}$ ,  $HF_{2.5}$ ); inhaled fractions, nanoaerosols; devices for controlling the aerosol by the mass of the vital and inhaled particles.*

**For citation:** Lutsenko L.A., Gvozdeva L.L., Tatyanyuk T.K. Informativity of the differentiated account of sizes of solids particles in the air environment for the protection of the health of employees of dust professions and the population (Review of the literature data). *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2018; 97(6): 514-519. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-6-514-519>

**For correspondence:** Lidia A. Lutsenko, MD, Ph.D., DSci., Professor, Head of the Department of Occupational Health, Institute of Complex Hygiene Problems of the F.F. Erisman of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 141014, Mytishchi, Russian Federation. E.mail: [lidasmed@mail.ru](mailto:lidasmed@mail.ru)

**Information about authors:**

Lytsenko L.A.: <http://orcid.org/0000-0001-7127-1404>; Tatyanyuk T.K.: <http://orcid.org/0000-0002-2893-0256>.

*Conflict of interest.* The authors declare no conflict of interest.

*Acknowledgment.* The study had no sponsorship.

Received: 15 March 2018

Accepted: 24 April 2018

Вредное воздействие повышенной запылённости воздуха на работающих и население является одной из актуальных проблем текущего времени и требует реализации более эффективных мер профилактики рисков здоровью. Так, проведённый нами анализ параметров пылевого воздействия у работников, занятых выплавкой чугуна и стали, выявил прямую сильную связь частоты пылевой патологии с кратностью превышения как среднесменных, так и максимальных предельно допустимых концентраций (ПДК) (коэффициент корреляции составил 0,85–0,72) при отсутствии чёткой зависимости от класса вредности условий труда по пылевому фактору. Было отмечено, что количество информативных показателей пылевого воздействия, достоверно связанных с уровнем действующих концентраций, возрастает в случае их расчёта относительно возрастано-стажевых групп профессий [1]. Рассчитанный нормированный непосредственный эпидемиологический риск ( $Wi^A$ ) [2], по данным заболеваемости с временной утратой трудоспособности (ЗВУТ) работников металлургического комбината указывает на очень высокий уровень ( $Wi^A > 3$ ) в отношении обострений хронических заболеваний органов дыхания и пневмоний в доменном цехе (ДЦ-1); высокий риск ( $Wi^A = 2,0-3,0$ ): в кислородно-конвертерном цехе (ККЦ-2) и листопркатном (ЛПП), тогда как в агломерационном производстве (АГП) был отмечен лишь повышенный риск ( $Wi^A = 1,0-2,0$ ). Полученные данные по ЗВУТ могут косвенно свидетельствовать о разной вредности для органов дыхания аэрозолей дезинтеграции (преимущественно в АГП) и конденсации (преимущественно в ДЦ-1, ККЦ-2, ЛПП). В структуре профпатологии работников указанного предприятия за 12-летний период 74,2% случаев приходилось на профессиональные заболевания органов дыхания. В целом у работников обследованного металлургического комбината частота случаев профессиональной патологии составила 17,19‰, что соответствует высокому уровню профессионального риска [3]. В целях доказательной взаимосвязи степени вредности пылевого фактора для здоровья работников «пылевых» профессий необходима более углублённая оценка гигиенических параметров пылевого фактора, включая роль фракционного состава витающей пыли и массы пыли, непосредственно поступающей в органы дыхания работников «пылевых» профессии. В текущее время этой проблеме посвящены многочисленные исследования зарубежных авторов, а также и в нашей стране – преимущественно с позиций оценки роли дисперсности частиц в окружающем воздухе.

Наиболее распространёнными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются выбросы предприятий машиностроения, чёрной и цветной металлургии, производства строительных материалов; выхлопы автотранспорта и многие другие. Образование повышенных концентраций полидисперсных аэрозолей характерно для технологических процессов в угольных шахтах, горнорудной промышленности; на обогатительных фабриках и др. Многие процессы в металлургии, электросварочные работы, плазменная и электроискровая обработка металла сопровождаются выделением в воздух мелкодисперсной пыли и паров, конденсирующихся в аэрозоли [4].

При разнообразии источников пылеобразования, данные по содержанию фракций взвешенных частиц представляются лишь в отдельных исследованиях. Между тем исследования качества атмосферного воздуха [5] показали присутствие в воздушной среде городов от 15 до 80% частиц  $PM_{10}$  в общей массе пылевого загрязнения. Большая часть  $PM_{10}$  поступает в атмосферный воздух в районах расположения крупных промышленных предприятий. Было отмечено, что вблизи металлургического комбината опасность для здоровья представляют повышенные концентрации частиц размером более 10 мкм, тогда как на расстоянии 2000–3000 м возрастает доля мелкодисперсных частиц (в том числе наночастиц (НЧ)). При этом выявлялась достоверная связь содержания мелких пылевых частиц в атмосферном воздухе с показателями заболеваемости населения и особенно болезнями органов дыхания [6]. При исследовании содержания мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе от стационарных источников загрязнения, преимущественно предприятий стройиндустрии (92,2%) Боровлевым А.Э. и соавт. [7] показано превышение ПДК  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$  лишь в случаях залповых выбросов пыли на цементном заводе (по  $PM_{10}$  – до уровней 1,1–2,5 ПДК; по  $PM_{2.5}$  – до уровней 1,1–2,62 ПДК).

В последнее время возрастает число исследований по оценке содержания в воздушной среде аэрозолей с характеристикой их дисперсного состава. При этом обращается внимание и на содержание сверхмалых по размеру частиц. Так, Зайцевой Н.В. и соавт. [8] получены принципиально различные характеристики содержания взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны предприятий горнодобывающей промышленности. На подземных участках было отмечено преобладание числа частиц руды с размерами от 0,5 до 3 мкм и повышение их массовой концентрации, тогда как счётная концентрация НЧ была близка к контрольному участку. На участке флотации регистрировалась высокая счётная концентрация НЧ и низкая массовая концентрация взвешенных веществ; в процессе гранулирования максимальная счётная концентрация НЧ была выше контрольной в 19–26 раз, тогда как при перегрузке продукта она превышала контрольный показатель в 6 раз. Превышение до 19 раз концентраций фракций  $PM_{1.0}$ ,  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$  установлено на рабочем месте плавильщика титанового производства в сравнении с помещением администрации [9]. При выпуске чугуна максимальная концентрация  $PM_{10}$  составила 9 мг/м<sup>3</sup>, тогда как доля фракции  $PM_{1.0}$  была более 75%. Счетное распределение НЧ соответствовало диапазону от 15024 до 26481 млн частиц в м<sup>3</sup> воздуха; размер частиц составил 10–65 нм с максимумом величины счетной концентрации частиц размером 30–35 нм. В помещении администрации (участок сравнения) максимальная счетная концентрация установлена в диапазоне 15–55 нм и составляла 527–1000 млн частиц на м<sup>3</sup> с максимумом, приходившимся на частицы размером менее 20 нм.

В зарубежной литературе огромное количество публикаций посвящено исследованию роли дисперсного состава пыли, находящейся в воздухе, для здоровья населения и работающего контингента [10, 11]. При этом в основе оценки профессиональной экспозиции лежит учёт дыхательной (респиральной) фракции

пыли ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ); установлены (с учётом вещественного состава) безопасные пределы экспозиции вдыхаемой (общей) массы пыли и её респираторной фракции. Именно респираторную фракцию признают наиболее опасной, способной вызывать развитие силикоза, асбестоза, рака лёгких, профессиональной астмы и др. [12].

В отечественной гигиене труда основополагающей позицией является признание вредности для организма всех дисперсных фракций пыли, находящихся в зоне дыхания работника [13–15]. Однако в современный период такой подход не может быть универсальным для оценки опасности воздействия пылевого фактора (в том числе и по фракционному составу) как этиологического фактора развития пылевых профессиональных заболеваний и/или производственно обусловленных нарушений здоровья работников пылевых профессий. Поэтому для нашей страны актуальной проблемой является совершенствование методологии контроля пылевого фактора, включая учёт показателей фракционного состава вдыхаемых аэрозолей. Важна и гармонизация с международной концепцией оценки риска здоровью работников промышленных производств, особенно при ведущей роли пылевого фактора; согласование единых международных подходов к классификации пылевых профессиональных болезней респираторного тракта, их этиологии и патогенеза [16, 17].

По уровню влияния на здоровье человека взвешенные частицы, особенно мелкие, отнесены к приоритетным загрязняющим веществам [10]. Европейским центром ВОЗ по окружающей среде и охране здоровья среди 10 основных вредных веществ, выбросы которых должны быть уменьшены к 2020 г., были указаны взвешенные частицы (PM), представленные в окружающем воздухе смесью твердых и жидких частиц. При этом выделены  $\text{PM}_{10}$  – массовая концентрация частиц диаметром менее 10 мкм и  $\text{PM}_{2,5}$  – массовая концентрация частиц диаметром менее 2,5 мкм. В состав  $\text{PM}_{2,5}$ , которые часто называют мелкодисперсными взвешенными частицами, входят и ультрамелкодисперсные частицы диаметром менее 0,1 мкм. Отмечено, что на большинстве территорий Европы доля  $\text{PM}_{2,5}$  составляет 50–70%  $\text{PM}_{10}$  [11].

Влияние на население экспозиции взвешенными частицами ( $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ ), как кратковременное (в течение нескольких часов или дней), так и долговременное (в течение месяцев и лет) может проявляться увеличением числа случаев обострения астмы и респираторных симптомов; ростом случаев госпитализации, увеличением показателей смертности от сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний, рака лёгкого. Вместе с тем эффект  $\text{PM}_{2,5}$ , с точки зрения показателей смертности (и особенно смертности в случае долговременной экспозиции), был более, чем в 20 раз выраженнее, нежели у  $\text{PM}_{10}$  [18, 19]. У «пылевых» профессий действие на органы дыхания малорастворимой пыли традиционной дисперсности (0,1–100 мкм) связывают с накоплением в лёгких критической дозы пыли, для формирования которой важны параметры пылевой экспозиции и активность мукоцилиарного клиренса и фагоцитоза, способствующие очищению дыхательного тракта от осевших частиц. Считают, что наибольшую опасность для здоровья представляют частицы респираторной фракции (размером до 5 мкм по аэродинамическому диаметру), которые легко проникают в лёгкие и там оседают, вызывая разрастание соединительной ткани, не способной передавать кислород из вдыхаемого воздуха гемоглобину крови и выделять углекислый газ (именно такой процесс наблюдается при пневмокониозе) [20, 21].

Во многих странах мира всё большее число эпидемиологических исследований посвящается оценке воздействия на здоровье человека и биосферу мелкодисперсной пыли, витающей в воздухе городов и сельской местности. При этом одним из основных вопросов ставится получение данных о сравнительной вредности фракций  $\text{PM}_{10}$  и  $\text{PM}_{2,5}$  особенно с учётом того, что в состав фракции  $\text{PM}_{2,5}$  входят и частицы нанодиапазона (менее 0,1 мкм).

Следует подчеркнуть, что для оценки потенциальной опасности аэрозольных частиц для здоровья работающих и населения учёт дисперсного состава только витающей в воздухе пыли является недостаточным. Соотношение фракций внутри дыхательных путей меняется в зависимости от их размера, условий дыхания, использования индивидуальных защитных средств (СИЗ), и потому может существенно отличаться от concentra-

ции частиц в окружающей среде. Именно для идентификации такой концентрации введено понятие вдыхаемая фракция (в зарубежной литературе – *inhalable fraction*). Она определяется как массовая доля всех взвешенных в воздухе частиц, которые вдыхаются через нос или рот. Понятие вдыхаемой фракции аналогично термину «коэффициент аспирации» аэрозольных пробоотборников, вводимому в теорию пробоотбора аэрозольных частиц. Актуальность оценки вдыхаемой фракции особенно возрастает применительно к таким прогрессивным технологиям, как наноиндустрия. В этом случае предварительная оценка значимости «пылевой нагрузки» сверхмелкими частицами может быть осуществлена на основе экспериментальных исследований и математического моделирования. Применение математического моделирования имеет преимущества, связанные с меньшими затратами на подобные исследования, их большей информативностью и возможностью прогнозирования.

Отечественный стандарт ГОСТ Р ИСО 7708:1995 (дата последнего изменения – 23.06.2009) «Качество воздуха. Определение гранулометрического состава частиц при санитарно-гигиеническом контроле» [22] устанавливает норматив по вдыхаемой фракции для оценки риска возникновения лёгочных заболеваний. При этом проводимые измерения позволяют более точно установить соотношение между концентрацией частиц в воздухе и риском возникновения заболеваний пылевой этиологии. Данный норматив разработан на основе измерений при скорости ветра более 1 м/с и используется применительно к условиям, встречающимся как в наружном воздухе, так и внутри помещений. В настоящее время актуальна разработка формулы расчета норматива для вдыхаемой фракции в условиях низкоскоростной среды. Эта проблема важна и применительно к оценке эффективности средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД). Так, следует обратить внимание на данные Кириллова В.Ф. с соавт. [23], которыми был сделан вывод о несоответствии декларируемых коэффициентов защиты современных СИЗОД из-за проникновения нефилтрованного воздуха в подмасочную область через зазоры между защитной маской и лицом. Данный тезис подтверждён исследованиями Мухаметзанова И.Т. [24], который разработал математическую модель расчёта вдыхаемой фракции дисперсных воздушных загрязнений для низкоскоростной (0,4 м/с) и неподвижной среды (отсутствие ветра). Автором дана оценка дозы взвеси частиц, оседаемых в каждой из трёх основных отделов дыхательной системы человека при свободном дыхании через защитную маску разной степени герметичности. В работе [24] отмечено, что при использовании респиратора без зазора общее количество осевших частиц в дыхательной системе уменьшилось в 77 раз, в том числе в альвеолах – в 82 раза, тогда как при использовании респиратора с зазором общее количество осевших частиц уменьшилось лишь в 21 раз.

К актуальным направлениям современных исследований относится и оценка вредного воздействия НЧ (менее 0,1 мкм). Главная особенность НЧ состоит в том, что в наноразмерном состоянии любые вещества приобретают новые химические, физические и биологические свойства, существенно отличающиеся от таковых в макро- и микроразмерном состоянии [25]. Особенно следует принять во внимание способность НЧ проникать в интерстиций лёгкого, в неизменном виде проходить через клеточные мембраны и через гематоэнцефалический барьер в центральную нервную систему; циркулировать в крови и накапливаться в органах и тканях, вызывать более выраженные патоморфологические поражения внутренних органов [26]. Многие НЧ не распознаются защитными системами организма ни человека, ни животных [27], не подвергаются биотрансформации и не выводятся из организма.

Высокая биологическая активность НЧ несёт в себе риски токсических эффектов. Так, у основных профессий металлургического производства, подвергающихся воздействию аэрозоля с повышенным содержанием НЧ меди в общей массе, в крови отмечено достоверное увеличение концентрации медьсодержащего фермента: церулоплазмينا, которое в наибольшей степени зависело от содержания соединений меди в виде НЧ, а не от общей концентрации меди в воздухе рабочей зоны [28]. Была исследована опасность ингаляционного поступления НЧ высокодисперсных аморфных кремнезёмов в организм работников в условиях производства; в эксперименте отмечено неблагопри-

ятное влияние НЧ на морфологическую структуру внутренних органов лабораторных белых крыс [29]. Отмеченные Мошкиным Н.П. [30] нейробиологические эффекты наноаэрозолей обосновывают необходимость использования генетических линий животных, предрасположенных к нейродегенеративным патологиям, частота которых находится в прямой зависимости от концентраций в воздухе наноразмерных аэрозолей.

В связи с рисками здоровью, обусловленными воздействием мелкодисперсных и ультратонких частиц, существует необходимость расширения исследований по контролю мелких взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны промышленных предприятий и атмосферном воздухе с учетом специфики источников образования аэрозолей, особенностей их физико-химического состава и свойств, включая дисперсность различных фракций.

В России существенно изменились принципы и методы контроля запыленности воздуха в направлении дифференцированного учёта дисперсности твёрдых частиц окружающей среды. В Российской Федерации утверждены гигиенические нормативы ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений», регламентирующие величину ПДК взвешенных частиц  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$ . Документ устанавливает максимально разовые и среднесуточные ПДК ( $mg/m^3$ ) для мелкодисперсных частиц размерами менее 2,5 ( $PM_{2,5}$ ) и менее 10 мкм ( $PM_{10}$ ). Европейской комиссией по стандартизации (СЕН) разработан референтный (эталонный) метод для отбора проб и измерения взвешенных частиц. Директивы Европейского Совета устанавливают в качестве эталонного метода гравиметрический метод измерения [31]. Остальные методы измерения концентрации взвешенных частиц рассматриваются, как эквивалентные.

В текущий период особую важность приобретает расширение пунктов мониторинга загрязнения атмосферного воздуха взвешенными частицами  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$ . Так, в Москве в системе экологического мониторинга качества атмосферного воздуха задействовано три специализированных метеоконцентра, 52 автоматические станции, 2 передвижные лаборатории и 1 аналитическая стационарная лаборатория. Измеряемые параметры автоматических станций включают 31 параметр, среди которых есть и мелкодисперсные взвешенные частицы  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$ , которые контролируются на 13 и 9 автоматических станциях [32]. Мониторинг концентраций  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  и определение элементного состава отобранных проб осуществляет автоматическая взвешивающая система AWS-1, предназначенная для гравиметрического определения содержания мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе в соответствии с требованиями стандартов ЕС.

Новые знания о доминирующей роли сверхмалого размера наночастиц и/или наноматериалов (НЧ/НМ) в формировании уникальных физико-химических свойств и более выраженных вредных эффектах воздействия на организм нанопродукции в сравнении с традиционным веществом свидетельствуют о необходимости особого подхода к выбору методов и средств контроля наноаэрозоля.

Согласно [12], гравиметрический метод контроля наноаэрозоля менее приемлем, поскольку, по мнению большинства исследователей, более информативным показателем считается не масса НЧ, а величина площади их поверхности либо число частиц. Эти показатели имеют более тесную корреляцию с вредными эффектами для здоровья, хотя в эксперименте и эпидемиологических наблюдениях часто используют массовую концентрацию (дозу).

При проведении гигиенических исследований на производстве, при отсутствии гигиенического норматива чаще используется счётный метод, где за контроль принимается относительно «чистое» рабочее место в сравнении с другими, подлежащими изучению. Однако такой подход может считаться только ориентировочным.

Учитывая необходимость знать вещественный состав фракций вдыхаемого аэрозоля, Слышкиной Т.В. с соавт. [33] разработан оптимальный и рациональный путь решения задачи по отделению наноаэрозоля от общей массы пыли. Это достигается с помощью отбора проб в жидкую среду с получением стабилизированной суспензии и измерения фракций дисперсных частиц прибором Sald-2300 фирмы Shimadzu, а также за счёт отделения

фракций с размерами частиц более 100 нм путём вакуумного фильтрования и исследования в фильтрате 17 металлов (Al, Fe, Ca, Cd, Co, Si, Mg, Mn, Cu, Mo, Ni, Sn, Pb, Ti, Cr, Zn, Zr) атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией полициклических ароматических углеводородов высокоэффективной жидкостной хроматографией (ВЭЖХ).

Для актуальности оценки риска здоровью работающих и населения, обусловленного воздействием аэрозолей различного вещественного и дисперсного состава, возникает необходимость в обеспечении гигиенической практики новыми приборами пылевого контроля, доступными для использования, но в то же время более разнообразными по цели применения. Государственный реестр средств измерений России включает как индивидуальные, так и комплексные приборы контроля. Европейский стандарт СЕН, EN 481 «Атмосфера рабочего места – размер фракции измеренных частиц в воздухе» (СЕН, 1993 [34]) обеспечивает определение целевых характеристик (нормативов, конвенций) приборов, измеряющих массовую долю контролируемых фракций:

- *вдыхаемая фракция* определяется как массовая фракция общего числа взвешенных частиц, которые вдыхаются через нос и рот;
- *торакальная фракция* задается как совокупное логнормальное распределение с массовым средним (медианным) аэродинамическим диаметром (ММАД) 11,64 мкм и геометрическим стандартным отклонением 1,5 (эквивалентна медиане, равной 10 мкм, когда характеристика выражается в виде доли от общего аэрозоля);
- *респираторная (дыхательная) фракция* определяется как доля вдыхаемой фракции; характеристика её ММАД задается как равная 4,25 мкм с геометрическим стандартным отклонением 1,5, что эквивалентно медиане 4,0 мкм как доли от общего аэрозоля.

Норматив респираторной фракции при контроле групп повышенного риска задается интегральным нормальным логарифмическим распределением с медианой 2,5 мкм и геометрическим стандартным отклонением 1,5. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 7708 – 2006, до 50% всех взвешенных в воздухе частиц диаметром 10 мкм относятся к торакальной фракции (проникает ниже гортани) [22].

Выбор приборов контроля в атмосферном воздухе взвешенных веществ ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ;  $PM_{1,0}$ ), помимо общей концентрации витающей пыли, определяется ожидаемыми дисперсными характеристиками твёрдых частиц в составе промышленных выбросов, наличием в технологическом процессе производства источников мелкодисперсных аэрозолей.

## Выводы

1. Актуальность проблемы обеспечения безопасности воздушной среды для здоровья человека обусловлена распространённостью производств и технологических процессов, связанных с пылеобразованием; недостаточной эффективностью и сложностью реализации противопылевых мероприятий, что приводит к загрязнению воздуха рабочей зоны и окружающей атмосферы пылевыми частицами, вещественный состав, свойства и диапазон размеров которых может широко варьировать.
2. При оценке дисперсных характеристик аэрозоля с твёрдой дисперсной фазой следует различать, относятся ли контролируемые параметры к взвешенной в воздухе пыли либо соответствуют определенной её доле, вдыхаемой человеком и преимущественно отлагающейся на том или ином участке дыхательного тракта.
3. Учёт отдельных фракций в составе массовой концентрации пыли важен для идентификации опасности пылевого воздействия и последующего изучения взаимосвязи «уровень фактора – эффект» с учётом массовых и дисперсных составляющих, для более обоснованного расчёта экспозиции пылевого воздействия; для оценки риска нарушения здоровья контингента лиц «пылевых» профессий; для обоснования адресных мер защиты здоровья.
4. Важность гигиенических данных об уровне загрязнения атмосферного воздуха взвешенными частицами подтверждена показателями здоровья населения как в виде краткосрочных реакций (в периоды сверхсильных загрязнений), так и в качестве

показателей формирования отдалённых эффектов (респираторных, сердечно-сосудистых и иных заболеваний), что в целом отражается на показателях качества здоровья человека.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.  
**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Литература (п.п. 12, 19, 21, 26, 27, 34 см. References)

1. Устюшин Б.В., Луценко Л.А., Татянюк Т.К., Гвоздева Л.Л. Вредные факторы металлургического производства, их влияние на уровень заболеваемости работающих. Научные труды ФНЦГ им. Ф.Ф.Эрисмана. Липецк, 2005. Вып. 15: 275-7.
2. Марченко Б.И. Здоровье на популяционном уровне: статистические методы исследования (руководство для врачей). Таганрог: Изв-во «Сфинкс», 1997; 432.
3. Измеров Н.Ф., Денисов Э.И., Молодкина Н.Н., Родионова Г.К. Методология оценки профессионального риска в медицине труда. *Мед. труда и пром. экол.* 2001; 12: 1-7.
4. Влияние мелкодисперсной пыли на биосферу и человека. /Калаева С.З., Муратова К.М., Чистяков Я.В., Чеботарев П.В. Известия Тул.ГУ. Наука о Земле. 2016; 3: 40-59.
5. Трескова Ю.В. Оценка степени опасности мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе и целесообразности их нормирования. *Молодой ученый.* 2016; 7: 291-4.
6. Ермаченко А.В., Котов В.С. Гигиеническое обоснование целесообразности нормирования взвешенных частиц в атмосферном воздухе с учетом их фракционного состава. *Гигиена населенных мест.* 2013; 62: 46-9.
7. Загрязнение атмосферного воздуха города Белгорода частицами пыли малых размеров. Боровлев А.Э., Кунгурцев С.А., Мигаль Л.В., Соловьев В.И. Ученые записи: электронный научный журнал Курского государственного университета. 2013; 1 (25).
8. Зайцева Н.В., Май И.В., Макс А.А., Загороднов С.Ю. Анализ дисперсного и компонентного состава пылей для оценки экспозиции населения в зонах влияния выбросов промышленных стационарных источников. *Гигиена и санитария.* 2013; 5: 19-25.
9. Гилева О.В. Определение концентрации мелкодисперсных частиц в воздухе рабочей зоны предприятий металлургической промышленности. Пермь, 2015.
10. Европейское региональное бюро. Воздействие взвешенных частиц на здоровье. Значение для разработки политики в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии. ВОЗ; 2013: 20.
11. ВОЗ. Взвешенные частицы. Мониторинг атмосферного воздуха. Раздел: Взвешенные частицы (ВЧ<sub>10</sub> и ВЧ<sub>2,5</sub>). Michal Krzyzanowski. 1998; Серия 85: 97-104.
12. Хухрина Е.В. К вопросу о принципах и методах нормирования производственной пыли. *Гигиена труда и профзаболевания.* 1964; 5: 3-8.
13. Борисенкова Р.В., Луценко Л.А., Лагунов С.И. и др. Итоги совместных исследований со странами-членами СЭВ по унификации подходов к нормированию угольной пыли. *Гигиена и санитария.* 1983; 5: 13-6.
14. Еловская Л.Т. Направления и перспективы совершенствования гигиенического нормирования промышленных пылей и пылевого контроля. //Борьба с пылью на производстве – основа профилактики профессиональных заболеваний органов дыхания. Сб. науч. тр. НИИ гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР. М., 1986: 17-47.
15. Денисов Э.И., Н.Н.Мазитова, М.В.Шеметова, М.Ю.Челищева, П.В.Чесалин. План действий МОТ (2010-2016 гг.) по охране и медицине труда и новый перечень профессиональных заболеваний. *Мед. труда и пром. экол.* 2001; 3: 7-13.
16. Мазитова Н.Н. Системный подход к оценке факторов риска и комплексной профилактике патологии бронхиального дерева у работников металлургических производств. Автореферат на соискание ученой степени доктора медицинских наук. М.; 2012: 48.
17. Воздействие взвешенных частиц на здоровье //Всемирная организация здравоохранения. 2013. [Электронный ресурс]. URL:[http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0007/189052/Health-effects-of-particulate-matter-final-Rus.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0007/189052/Health-effects-of-particulate-matter-final-Rus.pdf) (дата обращения: 28.03.2016).
18. Определение частиц микро- и нанодиапазона в воздухе рабочей зоны на предприятиях горнодобывающей промышленности.

19. Уланова Т.С., Гилева О.В., Волкова М.В. *Научно-практический журнал «Анализ риска здоровью».* 2015, 4 (12): 44-9.
20. ГОСТ Р ИСО 7708-2006 (дата последнего изменения – 23.06.2009): Качество воздуха. Определение гранулометрического состава частиц при санитарно-гигиеническом контроле.
21. Обзор результатов производственных испытаний средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД). В.Ф. Кириллов, А.С. Филин, А.В. Чиркин. *Токсикологический вестник.* 2014; 129 (6): 44-9.
22. Мухаметзанов И.Т. Расчет вдыхаемой фракции дисперсных воздушных загрязнений. Дисс. к.б.н., 2016.
23. Онищенко Г.Г. Организация надзора за оборотом наноматериалов, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека. *Гигиена и санитария.* 2011; 2: 4-9.
24. Гурвич В.Б., Кацнельсон Б.А., Рузаков В.О. Биохимические эффекты у рабочих, подвергающихся влиянию аэрозолей металлургического производства меди, содержащих наночастицы. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Екатеринбург; 2016: 21-3.
25. Диденко М.Н., Стыжка В.А. Влияние НЧ аморфного высокодисперсного кремнезема на морфологическую структуру внутренних органов крыс. *Биотехнология.* 2009; 2 (1): 80-7.
26. Мошкин М.П. Нейробиологические эффекты наноразмерных аэрозолей. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Екатеринбург; 2016: 40-1.
27. Руководящий документ. Массовая концентрация взвешенных частиц РМ<sub>10</sub> и РМ<sub>2,5</sub> в атмосферном воздухе. Методика измерений гравиметрическим методом. РД 52.04.830-2015. Дата введения 2016-03—01.
28. Система мониторинга атмосферного воздуха в городе Москве и практическое использование данных мониторинга в природоохранных целях. Материалы конференции «Экологическая безопасность». Правительство Москвы. Департамент природопользования и охраны окружающей среды; 2014.
29. Слышкина Т.В., Гурвич В.Б., Рослый О.Ф., Мартин С.В., Галащева О.Е. Методические подходы к количественному измерению наноаэрозоля в воздухе. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Екатеринбург; 2016: 52.

## References

1. Ustyushin BV, Lutsenko LA, Tatyanyuk TK, Gvozdeva LL Harmful factors of metallurgical production, their impact on the incidence of workers. Scientific approaches to the solution of regional hygienic problems of human health preservation. 15, Lipetsk; 2005: 275-7. (in Russian)
2. B. Marchenko I. Health at the population level: statistical methods of research (guide for physicians). Taganrog: proceedings of «the Sphinx»; 1997: 432. (in Russian)
3. Izmerov N.F., Denisov E.I., Molodkina, N.N., Rodionova G. K. Methodology for the assessment of professional risk in occupational medicine. *Meditcina truda i promyshlennaya ekologiya.* 2001; 12: 1-7. (in Russian)
4. Influence of fine dust on the biosphere and person. Kalayeva S. Z., Muratova K.M., Chistyakov Ya.V., Chebotaryov P.V. *News Toole. GU. Science about Earth.* 2016; 3: 40-59 (in Russian)
5. Treskova Yu.V. Assessment of degree of danger of fine particles in atmospheric air and expediency of their rationing. *Molodoj uchenyj.* 2016; 7: 291-4 (in Russian)
6. Ermachenko A.V., Kotov V.S. Hygienic justification of expediency of rationing of the weighed particles in atmospheric air taking into account their fractional structure. *Gigiiena naseleennyh mest.* 2013; 62: 46-9 (in Russian)
7. Pollution of atmospheric air of the city of Belgorod particles of dust of the small sizes. Borovlev A.E., Kungurtsev S.A., Migal L.V., Solovyov V.I. *Uchenye zapisi: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2013; 1 (25) (in Russian)
8. Zaitseva N.V., May I.V., Max A.A., Zagorodnov S.Yu. Analysis of dispersed and component dust composition for the estimation of population exposure in the zones of influence of industrial stationary sources. *Gigiiena i sanitariya.* 2013; 5: 19-25.
9. Gileva O.V. Definition of concentration of fine particles in air of a working zone of the enterprises of metallurgical industry. Perm, 2015 (in Russian)

10. European regional office. Impact of the weighed particles on health. Value for development of policy in countries of Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia. WHO. 2013: 20.
11. WHO. The weighed particles. Monitoring of atmospheric air. Section: The weighed particles (VCh<sub>10</sub> and VCh<sub>2,5</sub>). Michal Krzyzanowski. 1998; Series 85: 97-104 (in Russian).
12. Technical Report ISO/TR 27628 First edition 2007-02-01 «Workplace atmospheres — Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols — Inhalation exposure characterization and assessment. 1st ed. 2007-02-01.
13. Hukhrina E.V. To a question of the principles and methods of rationing of production dust. *Gigiena truda i profzabolevaniya*. 1964; 5: 3-8 (in Russian).
14. Borisenkova R.V., Lutsenko L.A., Lagunov S.I., etc. Results of joint researches with member countries Comecon on unification of approaches to rationing of coal dust. *Gigiena i sanitariya*. 1983; 5: 13-6 (in Russian).
15. Elovskaya L.T. Directions and prospects of improvement of hygienic rationing industrial pyly and dust control. Fight against dust on production – a basis of prevention of occupational diseases of respiratory organs. Sb.nauch.tr. Scientific research institute of occupational health and occupational diseases of the USSR Academy of Medical Sciences. M., 1986: 17-47 (in Russian).
16. Denisov E.I., N.N. Mazitova, M.V. Shemetova, M.Yu. Chelishcheva, P.V. Chesalin. Action plan of the ILO (2010-2016) for protection and medicine of work and new list of occupational diseases. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2001; 3: 7-13 (in Russian).
17. Mazitova N.N. System approach to assessment of risk factors and complex prevention of pathology of a bronchial tree at workers of metallurgical productions. The abstract for a degree of the Doctor of Medical Sciences. M.; 2012: 48. (in Russian).
18. Impact of the weighed particles on health//World Health Organization. 2013. [Electronic resource]. URL: [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0007/189052/Health-effects-of-particulate-matter-final-Rus.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0007/189052/Health-effects-of-particulate-matter-final-Rus.pdf) (date of the address: 3/28/2016) (in Russian).
19. A European aerosol phenomenology – 3: physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and kerbside sites across Europe. J.-P. Putaud et al. *Atmospheric Environment*. 2010; 44 (10): 1308-20.
20. Definition of particles micro and nanorange in air of a working zone at the enterprises of the mining industry. Ulanov of T.S., Gilev O.V., Volkov M.V. *Nauchno-prakticheskij zhurnal «Analiz riska zdorov'ju»*. 2015; 4 (12): 44-9 (in Russian).
21. A review on the human health impact of airborne particulate matter. Ki-Hyun Kim, Ehsanul Kabir, Shamin Kabir. *Environment International*. 2015; 74: 136-43.
22. GOST P ISO 7708-2006 (date of the last change – 6/23/2009): Quality of air. Determination of particle size distribution of particles at sanitary and hygienic control (in Russian).
23. Review of results of production tests of the individual protection equipment of respiratory organs (IPERO) /V.F. Kirillov, A.S. Filin, A.V. Chirkin. *Toksikologicheskij vestnik*. 2014; 129 (6): 44-9. (in Russian)
24. Mukhametzanov I.T. Calculation of the inhaled fraction of disperse air pollution//Diss. to c.b.s. 2016 (in Russian).
25. Onishchenko G. G. The organization of supervision of turnover of the nanomaterials constituting potential health hazard of the person. *Gigiena i sanitariya*. 2011; 2: 4-9 (in Russian).
26. Stern S.T., McNeil S.E. Nanotechnology safety concerns revisited. *Toxicology science*. 2008; 101 (1): 4-21.
27. Increases inflammation and altered macrophage chemotactic responses caused by two ultrafine particle types. L.C. Renwick et al. *Occupational and Environmental Medicine*. 2004; 61 (5): 442-7.
28. Gurvich VB, Katznelson BA, Ruzakov V.O. Biochemical effects of workers exposed to aerosols of metallurgical copper production containing nanoparticles. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. Ekaterinburg; 2016: 21-3.
29. Didenko M.N., Coupler of VA. Influence of LF of amorphous high-disperse silicon dioxide on morphological structure of internals of rats. *Biotekhnologiya*. 2009; 2 (1): 80-7.
30. Moshkin M.P. Neurobiological effects of nanosized aerosols. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation. Ekaterinburg; 2016: 40-41.
31. The leading document. Mass concentration of the weighed particles of PM10 and PM2,5 in atmospheric air. Measurement technique by a gravimetric method. RD 52.04.830-2015. Date of Introduction 2016-03-01.
32. The system of monitoring of atmospheric air in the city of Moscow and practical use of data of monitoring in the nature protection purposes. Materials of the Ecological Safety conference. Government of Moscow. Department of environmental management and environmental protection; 2014.
33. Slyshkina TV, Gurvich VB, Roslyi OF, Martin SV, Galashcheva OE. Methodical approaches to the quantitative measurement of nano-aerosol in air. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. Ekaterinburg; 2016: 52.
34. CEN, 1993 [CEN EN 481 «Workplace atmosphere – Size fraction definitions for measurement of airborne particles»].

Поступила 15.03.2018

Принята к печати 24.04.2018