

ДИСКУССИИ

DOI: <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-7-430-432>

УДК 622.807

© Кудряшов В.В., 2019

Кудряшов В.В.

Измерение массы пыли, вдыхаемой работниками в период трудового процесса

ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр им. Н.В. Мельникова» РАН, Крюковский тупик, 4, Москва, Россия, 111020

Изложен способ измерения массы вдыхаемой за смену пыли при многократных разовых измерениях концентрации. Показана недостоверность результатов, получаемых при использовании среднесменных концентраций. Даны рекомендации по достоверному измерению массы пыли, попадающей в легкие за рабочую смену.

Ключевые слова: вдыхаемая пыль; масса; среднесменные концентрации; ошибки измерения

Для цитирования: Кудряшов В.В. Измерение массы пыли, вдыхаемой работниками в период трудового процесса. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 59 (7). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-7-430-432>

Для корреспонденции: Валерий Викторович Кудряшов, вед. науч. сотр., проф., д-р техн. наук. E-mail: kudr_ipkon@mail.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Valeriy V. Kudryashov

Measurement of dust inhaled by workers during the work process

N.V. Melnikov Institute of Comprehensive Mineral Resources Exploitation, 4, Kryukovsky End, Moscow, Russia, 111020

A method for measuring the mass of dust inhaled per change at multiple one-time concentration measurements is presented. It is shown that the results obtained using the average concentration are unreliable. Recommendations for a reliable measurement of the mass of dust that enters the lungs per shift.

Keywords: respirable dust; mass; time-weighted average concentration; measurement error

For citation: Kudryashov V.V. Measurement of dust mass inhaled by workers during the labor process. *Med. truda i prom. ekol.* 2019; 59 (7). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-7-430-432>

For correspondence: Valery V. Kudryashov, leading researcherved, prof., Dr. of Sci. (Tech.) E-mail: kudr_ipkon@mail.ru

Funding: The study had no funding.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

При оценке вредности пыли и риска заболевания пневмокониозами определяется масса вдыхаемой пыли [1–3]. Она выражается через концентрацию n , мг/м³; объемную скорость легочной вентиляции q , дм³/мин; время пребывания человека в запыленной атмосфере t , мин:

$$m = nqt \times 1000, \text{ мг} \quad (1)$$

Концентрация пыли n определяется весовым методом:

$$n = (P_2' - P_1') / q' \times t' \quad (2)$$

где P_1' и P_2' — масса фильтра до и после отбора пробы, мг; q' — объемная скорость протягивания воздуха через фильтр аспиратором, дм³/мин; t' — время отбора пробы, мин.

Теперь масса пыли, поступающей в легкие,

$$m = [(P_2' - P_1') / q' \times t'] \times qt \times 1000, \text{ мг} \quad (3)$$

где qt — объем легочной вентиляции.

Когда отбор пыли происходит в течение рабочей смены непрерывно, то есть, когда $q' \times t' = qt$, то масса отобранной пыли $m = P_2 - P_1$.

При определении массы пыли, попадающей в легкие, не учитывались ошибки измерения величин, входящих в расчетную формулу (3), однако для достоверности получаемых результатов необходимо знать, с какой точностью определяется пылевая нагрузка на организм. Относительная предельная ошибка определения массы пыли m , попадающей в легкие, выражается формулой

$$dm/m = d(P_2' - P_1') / (P_2' - P_1') + dq'/q' + dt'/t' + dq/q + dt/t \quad (4)$$

Проанализируем эти ошибки.

Так как объем легочной вентиляции принимается с учетом установления тяжести труда, то величинами dq/q и dt/t можно пренебречь. Ошибка измерения объемной скорости прокачки воздуха dq'/q' по данным [4] не более 3%, а ошибка измерения массы пыли, отобранной аспиратором, вычисляется по формуле:

$$d(P_2' - P_1') / (P_2' - P_1') = dP_2' / (P_2' - P_1') + dP_1' / (P_2' - P_1') \quad (5)$$

При взвешивании абсолютные ошибки dP_1' и dP_2' равны между собой, поэтому

$$d(P_2' - P_1') / (P_2' - P_1') = 2 dP_{1,2}' / (P_2' - P_1') \quad (6)$$

За ошибку dP_1' и dP_2' можно принять чувствительность аналитических весов, равную, например, 0,05 мг.

Для получения достоверных величин массы вдыхаемой пыли вес пробы, отобранной в течение рабочей смены должен быть много больше чувствительности весов: $P_2 - P_1 \gg dP$.

Подсчитаем, какая масса пыли будет отобрана за смену (6 ч) при объемной скорости прокачки воздуха аспиратором АЭРА $q = 20 \text{ дм}^3/\text{мин}$, чтобы измерить, например, технически достижимый уровень запыленности воздуха, равный $150 \text{ мг}/\text{м}^3$. Масса пылевого осадка на фильтре составит $m = nqt = 150 \times 20 \times 60 \times 6 / 1000 = 1080 \text{ мг}$. Такая нагрузка на фильтры АФА-ВП недопустима [1,2]. Поэтому при высокой запыленности воздуха приходится многократно в течение смены отбирать пыль на фильтры и рассчитывать среднесменную концентрацию, а затем и массу отобранной пыли за смену.

Оценим ошибку определения массы пыли m_{cc} , которая может попасть в легкие, когда в расчетах используются среднесменные концентрации n :

$$m_{cc} = n_{cc}qt, \quad (7)$$

где q — объемная скорость легочной вентиляции, зависящая от тяжести труда; t — суммарное время отбора проб пыли в течение смены.

Теперь

$$m_{cc} = n_{cc}qt = [(n_1t_1 + n_2t_2 + \dots + n_kt_k) / (t_1 + t_2 + \dots + t_k)]qt \times 1000. \quad (8)$$

Здесь t — продолжительность смены в минутах, равная $t = t_1 + t_2 + \dots + t_k$.

После подстановки t в (8) и произведенного сокращения получим

$$m_{cc} = qn_1t_1 + qn_2t_2 + \dots + qn_kt_k. \quad (9)$$

В этом выражении каждое из слагаемых представляет собой массу пыли, отобранной при измерении разовых концентраций

$$m_{cc} = m_1 + m_2 + \dots + m_k. \quad (10)$$

Относительная ошибка m_{cc} будет равна сумме ошибок слагаемых

$$dm_{cc}/m_{cc} = dm_1/m_1 + dm_2/m_2 + \dots + dm_k/m_k \quad (11)$$

$$\text{или} \\ dm_{cc}/m_{cc} = \sum_{i=1}^k dm_i/m_i$$

В формулах (9), (10) и (11) индекс k означает количество разовых измерений концентрации в течение смены.

Сравним погрешности определения массы пыли, осаждаемой на фильтр в течение всей смены, с погрешностью этой же массы, полученной при многократных отборах проб. В первом случае

$$d_m/m = 2dP/(P_2 - P_1), \quad (12)$$

во втором — погрешность

$$dm_{cc}/m_{cc} = \sum_{i=1}^k 2dP_i/(P_2 - P_1^i) \quad (13)$$

Здесь dP_i и dP_1^i — погрешности взвешивания, равные чувствительности весов, P_2 и P_1 — масса фильтра до и после отбора проб пыли.

Очевидно, что погрешность во втором случае всегда больше, чем в первом, так как она равна сумме погрешностей разовых измерений, и еще потому, что всегда

$$P_2 - P_1 > P_2^i - P_1^i. \quad (14)$$

¹ Отбор проб происходит последовательно в течение всей смены, объемная скорость и время прокачки воздуха через каждый фильтр одинаковы при разовых измерениях концентрации. Это условие оговорено в [2].

Если погрешности разовых измерений массы отобранной пыли равновеликие, то погрешность измерения массы пыли, отложившейся за смену, в k раз больше той, которая получается в результате непрерывного отбора пыли в течение смены:

$$dm_{cc}/m_{cc} = k2dP/(P_2 - P_1). \quad (15)$$

Так как допустимые погрешности измерения массы угольной пыли составляют 30% [3], то при трехкратном ($k=3$)² отборе проб пыли за смену погрешность составит $30 \times 3 = 90\%$. При отборе проб в течение смены (6 часов) по 30 минут каждой их число будет $k=12$. А погрешность измерения массы пыли, отобранной за смену, составит $30 \times 12 = 360\%$.

Таким образом, определение пылевой нагрузки при многократных разовых измерениях приводит к неверным результатам, и в этом случае возникает необходимость внести поправки в ГОСТ Р 54578–2011, ОСТ 153–12.0–004–01, а также Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Вместо определения среднесменных концентраций следует измерять напрямую массу пыли, отбираемой за смену, при помощи индивидуальных пылеотборников или аспираторов с низкой и стабильной производительностью по воздуху в течение всей смены.

Расчеты массы вдыхаемой пыли следует производить по формулам:

$$m = [(P_2 - P_1)/q_0]q \quad (16)$$

или

$$m = [(P_2 - P_1)/Q_0]Q \quad (17)$$

где q_0 — объемная скорость прокачки воздуха через фильтр сепаратора или индивидуального пылепробоотборника; q — объемная скорость легочной вентиляции работающего в запыленной атмосфере; Q — объем легочной вентиляции за рабочую смену; Q_0 — объем воздуха, прокачанного аспиратором или индивидуальным пылепробоотборником.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Р 2.2.2006–05 М.; 2005.
2. ГОСТ Р 54578–2011 Воздух рабочей зоны. Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия. Общие принципы гигиенического контроля и оценки воздействия.
3. ОСТ 153–12.0–004–01. Рудничная атмосфера. Методы контроля запыленности.
4. Иванов Е.С., Кудряшов В.В. Аспиратор-пылепробоотборник с индикацией объема прокачанного воздуха и концентрации пыли ПП–2У. *Сб. трудов XIII Международной конференции. «Технология, оборудование и сырьевая база предприятий промышленности строительных материалов»*. М.; 2008: 335–8.

REFERENCES

1. Guidelines for the hygienic assessment of the working environment and labor process. Criteria and classification of working conditions. P2.2.2006–05 М.; 2005.
2. GOST R 54578–2011 The air of the working area. Aerosols predominantly fibrogenic action. General principles of hygienic control and impact assessment.

² Отбирать пробы менее трех раз за смену не рекомендуется [2].

Дискуссия

3. OST 153–12.0–004–01. *Mine atmosphere. Dust control methods.* *prises of the industry of construction materials»*. Moscow; 2008: 335–8
4. Ivanov E.S., Kudryashov V.V. *Aspirator-dust sampler with indication of the volume of pumped air and dust concentration PP–2U. Collections of works of XIII International Conference «Technology, equipment and raw material base of the enter-*

Дата поступления / Received: 05.06.2019

Дата принятия к печати / Accepted: 03.07.2019

Дата публикации / Published: 24.07.2019