

---

**УДК 622.512.2: 622.546.296****О.Г. КРЕМЕНЕВ, канд . техн. наук, зав. лаб., МакНИИ, г.Макеевка****МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ ШАХТНОЙ АТМОСФЕРЫ  
С ПОМОЩЬЮ РАДИОМЕТРА РАДОНА РГА-09 МШ**

*Разработан метод измерения запыленности шахтной атмосферы с помощью радиометра радона во взрывобезопасном исполнении. В процессе определения радиационных показателей с помощью радиометра радона выполняется отбор проб пыли шахтной атмосферы на фильтры, которые затем вывозят на поверхность шахты и по разности веса чистого и запыленного фильтров устанавливают запыленность шахтной атмосферы.*

**Ключевые слова:** шахта, радиационный контроль, радиометр радона, запыленность шахтного воздуха, аналитический фильтр.

В соответствии с инструкцией по измерению концентрации пыли в шахтах и учету пылевых нагрузок (НПАОП 10.0-5.08-04) измерение концентрации пыли должно проводиться во время выполнения основных производственных процессов с периодичностью не реже одного раза в месяц. При этом оперативный пылевой контроль должен проводиться работниками участка вентиляции и техники безопасности шахты. В настоящее время на многих шахтах отсутствуют приборы для измерения концентрации взвешенной пыли и эти измерения выполняются работниками ГВГСС, что для шахт достаточно нетехнологично и требует дополнительных материальных затрат.

Целью работы является разработка метода измерения запыленности шахтной атмосферы с помощью радиометра радона в процессе определения радиационных показателей.

МакНИИ разработан метод измерения запыленности шахтного воздуха с помощью радиометра радона на основных рабочих местах в процессе осуществления радиационного контроля. Метод допускает совместить проведение радиационного контроля и измерение концентрации взвешенной пыли, что позволит шахте решить проблему измерений концентрации пыли на рабочих местах во время выполнения основных производственных процессов.

Для осуществления радиационного контроля в угольных шахтах, регламентируемого п.30 главы 1 раздела IV Правил безопасности в угольных шахтах [1], МакНИИ рекомендует использовать радиометр эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона РГА-09МШ [2]. Применение этого прибора обосновано тем, что в Украине это единственный радиометр эквивалентной равновесной объемной активности радона во взрывобезопасном исполнении, предназначенный для использования в угольных шахтах, в т.ч. опасных по газу и пыли.

Осуществление радиационного контроля фактически предусматривает проведение радоновой съемки в сети горных выработок угольной шахты. Основным документом, регламентирующим проведение газовых съемок в угольных шахтах, является Руководство по производству депрессионных газовых съемок в угольных шахтах [3] и стандарт организации [4]. При этом измерение радона с помощью радиометра РГА-09МШ основано на методе осаждения на фильтр частиц веществ, витающих в окружающем шахтном воздухе, посредством прокачивания через фильтр определенного объема воздуха. После окончания прокачки воздуха фильтр с осевшими на нем частицами извлекают из узла прокачки, вставляют в узел контроля радиометра и измеряют альфа-активность осевших частиц в определенные интервалы времени после окончания прокачки. В зависимости от метода измерения альфа-активности интервалы времени разные. Например, для трехточечного модифицированного метода Маркова-Терентьева – три временных интервала. С 1-й по 4-ю минуты – первый интервал измерения, с 7-й по 10-ю – второй интервал измерения, в течение 30 минут в произвольное время, попадающее в интервал от 5 до 24 часов после окончания прокачки – третий (заключительный) интервал измерения. Для метода Томаса – четыре временных интервала: со 2-й по 5-ю (первый), с 6-й по 20-ю (второй), с 21-й по 31-ю (третий) и четвертый (заключительный) в течение 30 минут в произвольное время, попадающее в интервал от 5 до 24 часов после окончания прокачки.

Измерение в интервале от 5 до 24 часов после окончания прокачки фактически проводится после выезда из шахты (т.к. длительность смены в шахте равна 6 часам). Все фильтры, на которые отобраны пробы витающей пыли, складываются в специальную бумажную обойму для их переноски и хранения, и вывозятся из шахты на поверхность для этого измерения. После завершения заключительного измерения устанавливаются объемные активности (ОА) и ЭРОА дочерних продуктов распада радона-222, с учетом влияния торона, и ЭРОА радона-220 (торона). Таким образом, на основании информации об альфа-активности осевшей на фильтре пыли в разные промежутки времени устанавливают:

объемную активность ОА дочерних продуктов распада (ДПР) радона-222, с учетом влияния торона:  $C_a(\text{RaA})$ ,  $C_b(\text{RaB})$ ,  $C_c(\text{RaC})$ , Бк/м<sup>3</sup>;

$\text{ЭРОА}_{\text{Rn}}$  - эквивалентную равновесную объемную активность радона-222, с учетом влияния торона, Бк/м<sup>3</sup>;

$\text{ЭРОА}_{\text{Tn}}$  - эквивалентную равновесную объемную активность торона (радона-220), Бк/м<sup>3</sup>;

$C_{\text{радона}}$  – объемную активность (концентрацию) радона-222, Бк/м<sup>3</sup>;

$\lambda$  – кратность воздухообмена, Бк/м<sup>3</sup>;

$F$  – коэффициент равновесия между радоном и продуктами его распада, отн. ед.;

$N_1, N_2, N_3, N_\phi$  – количество альфа-частиц, зарегистрированных радиометром в разные интервалы времени после окончания прокачки и значение фонового счета, мин<sup>-1</sup>.

Фильтр с осевшей пылью можно также использовать для определения запыленности воздуха в точке определения радона (отбора пробы пыли). Для этого достаточно перед спуском в шахту взвесить и пронумеровать чистые фильтры, предназначенные для шахтных замеров альфа-активности. После шахтных замеров и выполнения заключительного измерения необходимо произвести взвешивание запыленных фильтров на весах с точностью не менее 0,1 мГ.

По разности веса чистого и запыленного фильтра можно установить запыленность шахтного воздуха с помощью формулы [5]:

$$c = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (1)$$

где  $m_2$  – масса запыленного фильтра, мГ;

$m_1$  – масса чистого фильтра, мГ;

$V$  – объем воздуха, прокачиваемый через фильтр и приведенный к нормальным условиям, определяемый по формуле [6]:

$$V = \frac{(273 + 20) \times (P_\phi - P_n \varphi) \times \tau \times \nu}{(273 + T) \times (P_n - P_0) \times 1000}, \quad (2)$$

где 273 – абсолютная температура, К;

$P_\phi$  – фактическое давление в момент отбора пробы пыли, Па;

$P_n$  – нормальное атмосферное давление, равное 101325 Па;

$P_n$  – давление насыщенного пара при температуре T, Па;

$P_0$  – давление водяных паров при температуре 20<sup>0</sup>С и влажности 50% (величина постоянная и равная 8,7 мм. рт. ст. или 1160 Па);

$\varphi$  – относительная влажность воздуха в пункте отбора пробы пыли, доли единицы;

$v$  – скорость прокачки воздуха через фильтр, л/мин;

$\tau$  – продолжительность отбора пробы, мин;

1000 – коэффициент перевода литров в кубические метры (1м<sup>3</sup>=1000л).

Во время отбора пробы пыли на фильтр в точке отбора необходимо измерять температуру, влажность, атмосферное давление и скорость движения воздуха в выработке.

Перед взвешиванием фильтры, доставленные из шахты, выдерживаются не менее 2 часов в помещении (камере), в котором устанавливаются температура и влажность такие же, как в месте отбора пробы в шахте.

На точность определения запыленности с помощью радиометра РГА-09МШ влияет отличие скорости движения воздуха в горной выработке от скорости движения воздуха через фильтр в воздухоподающем канале узла воздуходувки радиометра, а также степень запыленности воздуха (т.е. концентрация пыли, витающей в воздухе).

Известно, что для надежного определения содержания пыли в воздухе с использованием фильтров АФА необходимое накопление на фильтре пыли должно быть 1-2 мГ [6]. Максимальный объем фильтруемого аэрозоля за единицу времени через фильтр АФА-РСП-10 не должен превышать 70 л/мин [7]. В радиометре РГА-09МШ скорость прокачки воздуха через фильтр постоянная и равна 20 л/мин, продолжительность прокачки – 5 мин [2].

Расчет величин продолжительности отбора проб пыли в зависимости от концентрации взвешенной в шахтной атмосфере пыли приведен в табл. 1.

В местах, где запыленность воздуха более 10 мГ/м<sup>3</sup>, продолжительность отбора пробы пыли в течение одной прокачки при скорости прокачки воздуха 20 л/мин достаточна для формирования на фильтре минимально необходимой навески пыли.

Корректировка отличия скорости воздуха в горной выработке от скорости прохождения воздуха через фильтр в узле прокачки радиометра при отборе проб пыли осуществляется путем введения воздуха в окно воздуходувки через насадку.

Таблица 1

Продолжительность отбора проб пыли в зависимости от концентрации взвешенной в шахтной атмосфере пыли

Предполагаемая запыленность воздуха, с, мг/м <sup>3</sup>	Минимальная навеска пыли на фильтре, мг	Скорость прокачки воздуха через фильтр, л/мин	Продолжительность отбора пробы пыли, t <sub>отб</sub> , мин	Количество прокачек через фильтр, ед.
0,25	1	20	200	40
0,5	1	20	100	20
1,0	1	20	50	10
2,0	1	20	25	5
5,0	1	20	10	2
10,0	1	20	5	1
Свыше 10	1	20	5	1

Насадка представляет собой трубку, определенного внутреннего диаметра, укрепляемую на входное окно воздуходувки радиометра. Конструкция насадки приведена в [8]. Применение насадки позволяет выполнить условие изокинетичности – выравнивания скорости воздуха в горной выработке и скорости во входном канале воздуходувки радиометра, при условии совпадения направления движения воздуха в выработке с направлением движения воздуха во входном канале воздуходувки радиометра.

Расчетные значения внутреннего диаметра трубки насадки в зависимости от скорости движения воздуха в горной выработке приведены в табл. 2.

Таблица 2

Внутренний диаметр трубки насадки в зависимости от скорости движения воздуха в горной выработке

№ п/п	Диаметр входного окна канала поступления воздуха в радиометр, мм	Скорость воздуха во входном канале радиометра, л/мин, (м/с)	Скорость движения воздуха в горной выработке, м/с	Внутренний диаметр трубки насадки, мм
1	36	20, (0,33)	0,3-0,49	36±2
2	36	20, (0,33)	0,5-0,79	27±2
3	36	20, (0,33)	0,8-1,59	20±3
4	36	20, (0,33)	1,6-2,59	15±2
5	36	20, (0,33)	2,6-5,0	11±2
6	36	20, (0,33)	5,1-8,0	8±1

Для отбора проб пыли, взвешенной в шахтном воздухе, в радиометре РГА-09МШ используют аналитический аэрозольный фильтр радиоспектрометрический АФА-РСП-10. Характеристики и конструкция таких фильтров приведены в [9]. Фильтр имеет форму круга, вставленного в бумажное опорное кольцо, с выступающей хвостовой частью. Методика измерения запыленности с помощью фильтров АФА-РСП-10 предусматривает после установки фильтра в зажим-держатель радиометра РГА-09МШ необходимость отрывания (удаления) выступающей за опорное кольцо «хвостовой» части защитных бумажных колец. Для определения запыленности шахтного воздуха необходимо знание веса чистого фильтра без «хвостовой» части. С целью установления веса такого фильтра было произведено взвешивание чистых фильтров (с удаленной хвостовой частью) в выборках объемом по 20-30 штук из упаковок (по 100 шт.) различных партий изготовления. Средний статистический вес чистого фильтра (с удаленной хвостовой частью) составил величину  $P = 0,2124 \pm 0,0032$  Г.

Фильтрующим материалом в фильтрах служит фильтрующее полотно Петрянова ФПП-15-1,5 с площадью рабочей поверхности 10 см<sup>2</sup>. Фильтрующий материал гидрофобный, представляет собой слои ультратонких волокон перхлорвинила, спрессованных в круглые диски, весом до 150 мГ. Материал стойкий к кислотам, щелочам, окислам азота, не теряет свои свойства при температурах от минус 200 до 60<sup>0</sup>С, выдерживает перепад давлений до 400 мм. рт. ст. Проскок стандартного масляного тумана через эти фильтры при скорости потока 1,0 см/с не превышает 0,5% [9]. Эти фильтры предназначены для определения концентрации  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -активных аэрозолей путем непосредственного измерения количества задержанных на фильтре радиоактивных аэродисперсных примесей. Изменение собственного веса материала фильтра при возможных колебаниях относительной влажности воздуха ничтожно мало. Это позволяет с высокой точностью обнаруживать привес фильтра до 0,1 мГ (вместо 5-10 мГ для бумажных фильтров).

Проверка разработанного метода была выполнена в лабораторных помещениях и опытном штреке МакНИИ. В опытном штреке запыленность воздуха осуществлялась распылением угольной пыли в объемном пространстве штрека. Для испытаний использовали каменноугольную пыль, полученную измельчением угля из пласта  $m_3$  «Макеевский» шахты «Чайкино» ГП «Макеевуголь» с содержанием летучих 29-35%, золы - не более 9%, влаги - не более 2%. Степень измельчения угля характеризовалась тем, что согласно ГОСТ 4403-77 на сите № 49 остаток не превышал 1%, а через сито № 76 проходило не менее 50% пыли.

Результаты измерений запыленности воздуха в помещениях лабораторий и опытном штреке МакНИИ приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты экспериментальных измерений запыленности воздуха  
в помещениях лабораторий и опытном штреке МакНИИ

№ фильтра, партии	Вес чистого фильтра,* Р <sub>0</sub> , Г	Вес запыленного фильтра, Р, Г	Привес фильтра, ΔР, Г	Концентрация пыли, С, мг/м <sup>3</sup>	Количество прокачек, ед., помещение лабораторий
1	2	3	4	5	6
Помещения лабораторий МакНИИ					
2-102, 74	0,2046 0,2067 0,2123	0,2073	0,0027 0,0006 -	7,2 2,0 -	3 Компьютерная
2-103 74	0,2093 0,2067 0,2123	0,2114	0,0021 0,0047 -	4,2 9,4 -	5 Компьютерная
2-104 74	0,2062 0,2067 0,2123	0,2077	0,0015 0,0010 -	7,5 5,0 -	2 Архив
2-105 74	0,2047 0,2067 0,2123	0,2056	0,0009 - -	4,5	2 Компьютерная
2-106 74	0,1998 0,2067 0,2123	0,2011 - -	0,0013 - -	4,3 - -	3 Компьютерная
2-107 74	0,2063 0,2067 0,2123	0,2074	0,0011 0,0007 -	1,8 1,4 -	5 Лаб. 315
2-108 74	0,2063 0,2067 0,2123	0,2075	0,0012 0,0008 -	2,4 1,6 -	5 Лаб. 315
8 555	0,2119 0,2143 0,2123	0,2148	0,0029 0,0005 0,0027	5,8 1,0 5,5	5 Компьютерная
11 555	0,2219 0,2143 0,2123	0,2251	0,0032 0,0108 0,0123	6,4 21,6 25,6	5 Компьютерная

продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6
14	0,2080	0,2090	0,0010	5,0	2
2-555	0,2143			-	Архив
	0,2123			-	
15	0,2107	0,2117	0,0010	5,0	2
2-555	0,2143			-	Архив
	0,2123			-	
16	0,2151	0,2156	0,0005	1,7	3
2-555	0,2143		0,0013	4,3	Компьютерная
	0,2123		0,0033	11,0	
Опытный штрек МакНИИ					
51	0,2078	0,2247	0,0169	169,0	1
555	0,2127		0,0120	120,0	Опытный
	0,2123		0,0124	124,0	штрек
52	0,2125	0,2153	0,0028	28,0	1
555	0,2127		0,0026	26,0	Опытный
	0,2123		0,0030	30,0	штрек
53	0,2110	0,2119	0,0009	9,0	1
555	0,2127		-	-	Опытный
	0,2123		-	-	штрек
122	0,2097	0,2148	0,0051	51,0	1
74	0,2066		0,0082	82,0	Опытный
	0,2123		0,0025	25,0	штрек
123	0,2111	0,2171	0,0060	60,0	1
74	0,2066		0,0105	105,0	Опытный
	0,2123		0,0047	47,0	штрек
124	0,2088	0,2105	0,0017	17,0	1
74	0,2066		0,0039	39,0	Опытный
	0,2123		0,0018	18,0	штрек

## Примечание

\* - в первой строке – индивидуальный начальный вес чистого фильтра;

- во второй строке средний статистический вес фильтра для выборки фильтров из одной пачки (100 шт. фильтров) партии № 74 или партии № 555;

- в третьей строке средний статистический вес фильтра для выборки фильтров из 4 пачек (по 100 шт. фильтров) партий № 74, 325, 555, 555.





Рис. Пробы пыли, осевшей на фильтр, при различной концентрации взвешенной пыли в воздухе опытного штрека:

1 – 169 мг/м<sup>3</sup>, 2 – 28 мг/м<sup>3</sup>, 3 – 9 мг/м<sup>3</sup>, 4 – чистый фильтр.

Экспериментальные данные измерений запыленности воздуха показали, что при навеске пыли на фильтре более 10 мГ применение при расчете запыленности усредненного веса чистого фильтра дает погрешность измерения до 30%. При навеске пыли на фильтре 1-2 мГ при расчетах запыленности воздуха необходимо применять индивидуальный вес чистого фильтра. При этом погрешность измерения не более 10%.

## ВЫВОДЫ

Разработанный метод контроля запыленности шахтного воздуха с помощью радиометра эквивалентной равновесной объемной активности радона РГА-09МШ позволяет выполнять измерения запыленности шахтного воздуха одновременно с процессом осуществления радиационного контроля в угольной шахте. Разработанный метод и радиометр радона РГА-

09МШ во взрывобезопасном исполнении позволяет заменить измерение запыленности шахтного воздуха, выполняемого с помощью автоматического эжекторного рудничного аспиратора АЭРА. При этом процесс измерения становится намного удобнее, так как вес радиометра (3 кг) меньше веса АЭРА (7,7 кг). Отпадает необходимость заряжать сжатым воздухом баллоны, устанавливаемые в АЭРА при измерениях. Относительная погрешность разработанного метода измерений запыленности воздуха – на уровне гравиметрического метода (не более 10%).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безпеки у вугільних шахтах (зі змінами): НПАОП 10.0-1.01-10. – Офіц. вид. – К.: Охорона праці, 2010. – 430 с. – (Нормативний документ Держгірпромнагляду України).
2. Радиометр эквивалентной равновесной объемной активности радона РГА-09МШ (РГА-09МШ1). Руководство по эксплуатации. АЖАХ.412123.008 РЭ. – Желтые Воды: Тетра, 2014. – 27с.
3. Руководство по производству депрессионных газовых съёмок в угольных шахтах. – М.: Недра, 1975. – 64 с.
4. Депресійні та газові зйомки у вугільних шахтах. Методи проведення: СОУ 10.1-00174102-005:2005. – Офіц. вид. – К.: Мінпаливенерго України, 2005. – 65 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
5. Патент 2422802 Российская Федерация, G01N5 Способ оценки запыленности рабочей зоны / Стареева М. О., Кочетов О. С.; патентовладельцы Кочетов О. С., Стареева М. О. [Электронный ресурс] сайт Патентный поиск. – Режим доступа к сайту:  
<http://www.findpatent.ru/patent/242/2422802.html>.
6. Инструкция по контролю содержания пыли на предприятиях горнорудной и нерудной промышленности. – М.: Недра, 1981. – 32 с.
7. Аналитические фильтры модели АФА-ВП, АФА-Х, АФА-РМ, АФА-РСР. – ЭКО-ИНТЕХ. Экологические приборы и оборудование. [Электронный ресурс] сайт ООО НПО «ЭКО-ИНТЕХ». – Режим доступа к сайту: <http://www.eco-intech.com/catalog/5/460>.
8. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов/ Коузов П.А. – Л.: Химия, 1987.–264 с.
9. А.с. 138768 СССР. Аналитические аэрозольные фильтры (АФА) / И.В. Петрянов-Соколов, Н.Б. Борисов, П.И. Басманов, Н.Б. Розенблюм, Г.Л. Натансон, Л.И. Коптева, А.Д. Михай, Г.И. Баберкина (СССР). – №673598/23; заявл.16.07.60; опубл. 1961, Бюл. №11, [Электронный ресурс]

Описание изобретения к авторскому свидетельству. – Режим доступа к патенту СССР 01.01.1961 SU 138768: [http://patentdb.SU /5-138768 - analiticheskie-aehrozolnye-filtry-afa.html](http://patentdb.SU/5-138768-analiticheskie-aehrozolnye-filtry-afa.html).

Получено: 25.11.2013

*Розроблено метод виміру запиленої шахтної атмосфери за допомогою радіометра радону РГА-09МШ у вибухобезпечному виконанні. В процесі визначення радіаційних показників за допомогою радіометра виконується відбір проб пилу шахтної атмосфери на фільтри, які потім вивозять на поверхню і за різницею ваги чистого і запиленого фільтрів встановлюють запиленість шахтної атмосфери.*

**Ключові слова:** шахта, радіаційний контроль, радіометр радону, запиленість шахтного повітря, аналітичний фільтр.

*A method for mine atmosphere dustiness measuring by using explosion-proof radon radiometer has been developed. In the process of determining the radiation performance using a radiometer of radon dust sampling is performed at the mine atmosphere filters, which are then transported to the surface of the mine and the mine atmosphere dustiness is determined on the base of difference between the weight of pure and dusty filters.*

**Keywords:** coal mine, radiation control, radon radiometer, dust content of mine atmosphere, aerosol quantitative filter paper.