

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ С УЧЕТОМ ДИСПЕРСНОСТИ ПЫЛИ В АТМОСФЕРЕ РАБОЧИХ МЕСТ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Разработана методика оценки радиационной обстановки с учетом дисперсного состава пыли в воздухе рабочих мест угольной шахты. Показана возможность определения дисперсного состава пыли с помощью фильтра радиометра, получаемого в процессе измерения ЭРОА радона радиометром РГА-09МШ на различных рабочих местах в угольной шахте.

Ключевые слова: шахта, радиационная обстановка, радон, пыль, радиометр.

Радиационная обстановка – это совокупность радиационных факторов в пространстве и времени, способных воздействовать на функционирование объекта, вызывать облучение персонала, населения и радиоактивное загрязнение окружающей среды [1]. Радиационная обстановка в угольных шахтах обусловлена наличием в ней природных, а также техногенно-усиленных источников радиационного излучения. Техногенно-усиленный источник природного происхождения – это источник ионизирующего излучения природного происхождения, который в результате хозяйственной и производственной деятельности человека был подвержен концентрированию или увеличилась его доступность, вследствие чего образовалось дополнительное (к природному радиационному фону) облучение [2]. Природные источники излучения – это источники излучения, происхождение которых связано с присутствием естественных радионуклидов в объектах среды обитания и окружающей среды, а также космическое излучение [3]. В угольной шахте объектами среды обитания и окружающей средой горняков являются шахтные выработки, пройденные в горном массиве, и рудничная атмосфера. Поэтому радиационная обстановка угольных шахт формируется за счет присутствия в угольных пластах и вмещающих породах естественных радионуклидов (ЕРН). Наиболее значимыми из них являются элементы радиоактивных семейств урана, тория, а также калий-40 [4,5]. В угольных шахтах не учитывается космическое излучение (т.к. оно доходит только до поверхности Земли и в шахте отсутствует) и излучение, создаваемое в организме человека калием-40, на которое практически невозможно влиять [4].

В атмосфере горных выработок угольной шахты содержатся газообразные продукты распада урана и тория: изотопы радон-222 и радон-220 (торон), аэрозольные продукты распада радона-222 (дочерние продукты распада радона - ДПР) и радона-220 (торона) (дочерние продукты распада торона - ДПТ). В частичках вещества взвешенной пыли шахтной атмосферы содержатся радий-226, торий-232, калий-40. Рабочие угольных шахт в той или иной степени подвергаются воздействию описанных выше радиационных факторов.

Для угольных шахт принято различать четыре радиационных фактора, которые по степени опасности располагаются следующим образом [4]:

пылерадиационный фактор (ПРФ), формирующийся за счет присутствия в шахтной пыли естественных радионуклидов (ЕРН);

аэрозольные дочерние продукты распада радона-222 (ДПР) и радона-220 (торона) (ДПТ);

газообразный радон-222 и в меньшей степени радон-220 (торон);

внешнее гамма-излучение, формирующееся за счет гамма-полей образованных содержащимися в горных породах ЕРН.

Оценку радиационной обстановки (РО) в угольных шахтах производят по суммарной годовой эффективной дозе (ГЭД) облучения горняков [6].

Наибольший вклад в суммарную ГЭД облучения горняков в угольных шахтах вносит внутреннее облучение горняков [4, 5]. При этом наиболее существенным является внутреннее облучение горняков за счет ингаляционного поступления взвешенных в рудничной атмосфере частиц шахтной пыли, содержащих долгоживущие естественные активные радионуклиды (ДАН). Ингаляционное поступление рудничной пыли создает до 96 % суммарной ГЭД (в среднем вклад ПРФ в суммарную ГЭД составляет 60 %) [5].

В структуре суммарной годовой эффективной дозы (ГЭД) облучения горняков угольных шахт доля внутреннего облучения горняков за счет ингаляции газообразных изотопов радона (^{222}Rn – радон и ^{220}Rn – торон) и их аэрозольных короткоживущих дочерних продуктов распада радона-222 (ДПР) и радона-220 (ДПТ), содержащихся в атмосфере горных выработок на рабочих местах горняков, составляет в среднем 38 % в суммарной ГЭД [5].

При этом ДПР создают от 1 до 79 % суммарной ГЭД (в среднем вклад ДПР в суммарную ГЭД составляет 23 %). Вклад ДПТ в суммарную ГЭД в среднем составляет не более 10 % [5].

Вклад газообразных радона и торона в среднем в суммарную ГЭД составляет не более 5 % [5].

Внешнее облучение горняков в угольных шахтах обусловлено гамма-излучением. Вклад гамма-излучения в суммарную годовую эффективную дозу (ГЭД) облучения горняков составляет в среднем 2% [5].

Перечисленные природные источники излучения определяют радиационную обстановку в горных выработках угольных шахт.

В угольных шахтах происходит хроническое облучение горняков от источников ионизирующего облучения природного происхождения и/или техногенно-усиленных источников природного происхождения.

Оценка радиационной обстановки устанавливается по суммарной годовой эффективной дозе (ГЭД), обусловленной радиационными факторами, действующими в угольной шахте.

Методика определения годовой эффективной дозы облучения персонала шахт, обусловленной долгоживущими альфа-активными радионуклидами ЕДАН, попадающими в шахтную атмосферу с частицами пыли, образующимися при технологических процессах в угольных шахтах, сопровождающихся пылеобразованием, приведена в [7, 8]:

$$E_{\text{ДАН}} = k \cdot C_{\text{ДАН}} = \frac{DL_E}{PC} \cdot b \cdot f \cdot A_{mU,Th} \quad , \quad (1)$$

где k – переводной дозовый коэффициент для альфа-излучателей, определяется по формуле [7]:

$$k = \frac{DL_E}{PC_{U,Th}} \quad , \quad (2)$$

DL_E – предел годовой эффективной дозы для горняка, мЗв/год [2];

$b = 5 \cdot 10^{-6}$ для урана-радия; $b = 3 \cdot 10^{-6}$ для тория;

$PC_{U,Th}$ – допустимая концентрация ДАН рядов урана, тория в шахтной атмосфере, Бк/м³, определяется по формуле [7]:

$$PC = \frac{ALI^{inhal}}{V} \quad , \quad (3)$$

ALI^{inhal} – допустимое поступление альфа-активных нуклидов через органы дыхания, Бк/год, определяется по формуле [2]:

$$ALI^{inhal} = \frac{DL_E}{e} \quad , \quad (4)$$

e – доза на единицу ингаляционного поступления для референтного возраста «взрослый» и медианного по активности аэродинамического диаметра $AMAD$ [9];

f – запыленность воздуха, мг/м³, [10];

$A_{mU,Th}$ – удельная альфа-активность пылеобразующего материала (горного массива), Бк/кг, [11].

Анализ приведенных формул (1) - (4) показывает, что для определения $E_{\text{ДАН}}$ необходимо знать:

- медианный по активности аэродинамический диаметр пыли $AMAD$ в шахтной атмосфере, устанавливаемый по данным о дисперсном составе пыли;
- концентрацию взвешенной пыли f , мг/м³;
- допустимую концентрацию ДАН в шахтной атмосфере PC для естественных радионуклидов рядов урана, тория и калия-40, Бк/м³;
- удельную активность A_m пылеобразующего материала, Бк/кг.

Однако данных о дисперсном составе пыли в контролируемой точке, как правило, не имеются. В работе предложен метод определения дисперсного состава шахтной пыли, осуществляемый одновременно с процессом измерения эквивалентной равновесной объемной активности радона радиометром РГА-09МШ на рабочих местах в шахтных условиях.

Суть метода изложена на примере определения дисперсного состава взвешенной пыли при измерении ЭРОА радона на рабочем месте рукоятчика клетового ствола.

Дисперсный состав пыли определяли методом микроскопирования пыли, осевшей на аналитический фильтр АФА-РСП-10, при выполнении измерения активности газовой среды на рабочем месте рукоятчика с помощью радиометра РГА 09МШ.

Типичный внешний вид фильтра АФА, после 5-минутной прокачки через него запыленного воздуха на рабочем месте рукоятчика, приведен на рис. 1.

На запыленном фильтре с помощью микроскопа выбиралось достаточно большое число круговых площадок и производилось их фотографирование. Внешний вид типичной фотографии круговой площадки представлен на рис. 2, места их расположения на поверхности запыленного фильтра показаны на рис. 3.

При проведении исследований размер круговой площадки (видимого поля зрения микроскопа) составляет 450 мкм в диаметре.

Размер частиц пыли определяли с помощью эквивалентного (эффективного) диаметра $d_э$. В соответствии с [12] принимали равным $d_э = 0,8 a$, где a – длина частицы.

Объем частицы с помощью эквивалентного диаметра определяли по формуле:

$$V = \frac{4}{3} \rho \cdot r_э^3 = \frac{\rho}{6} d_э^3 = 0,5236 \cdot d_э^3 \quad (5)$$

Масса частицы устанавливалась умножением объема частицы на плотность материала пыли (уголь, порода). Плотности частиц пыли соответствуют средним значениям плотности основных вмещающих горных пород и угольных пластов в горном массиве угольных шахт. Плотность некоторых горных пород и минералов приведена в табл.1 [13].

Таблица 1 - Значения плотности некоторых горных пород и минералов

№ п/п	Наименование горных пород	Плотность, г/см ³
Осадочные		
1	Песчаники	2,59 – 2,72
2	Известняки	2,68 – 2,84
3	Глинистые сланцы	2,51 – 2,72
Полезные ископаемые		
4	Антрацит	1,34 – 1,50
5	Каменный уголь	1,20 – 1,50
6	Торф	1,05
7	Графит	2,10 – 2,30



Рис. 1 – Внешний вид фильтра, после прокачки через него воздуха в контролируемом рабочем месте (рабочем месте рукоятчика); слева – запыленный фильтр; справа – чистый фильтр.

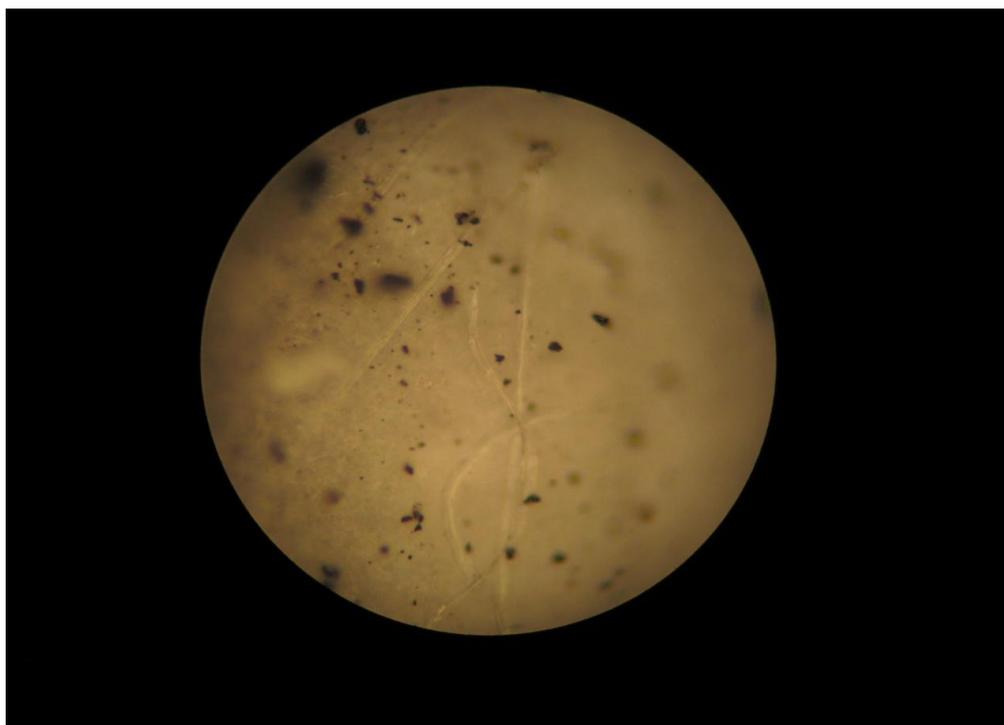


Рис. 2 – Внешний вид типичной круговой площадки на поверхности запыленного фильтра, с осевшими частицами взвешенной в окружающей атмосфере пыли (после прокачки через фильтр воздуха в контролируемом рабочем месте).

На каждой из выделенных площадок подсчитывалось количество частиц определенных размеров и строилась гистограмма распределения частиц по их размерам и массе. Контролируемые размеры частиц находились в диапазоне от

0,1 до 100 мкм. Размеры частиц определялись с помощью фотографии круговой площадки, полученной с помощью микроскопа ММО-1600АТ [14]. Диапазон увеличения микроскопа от 40 до 1600.

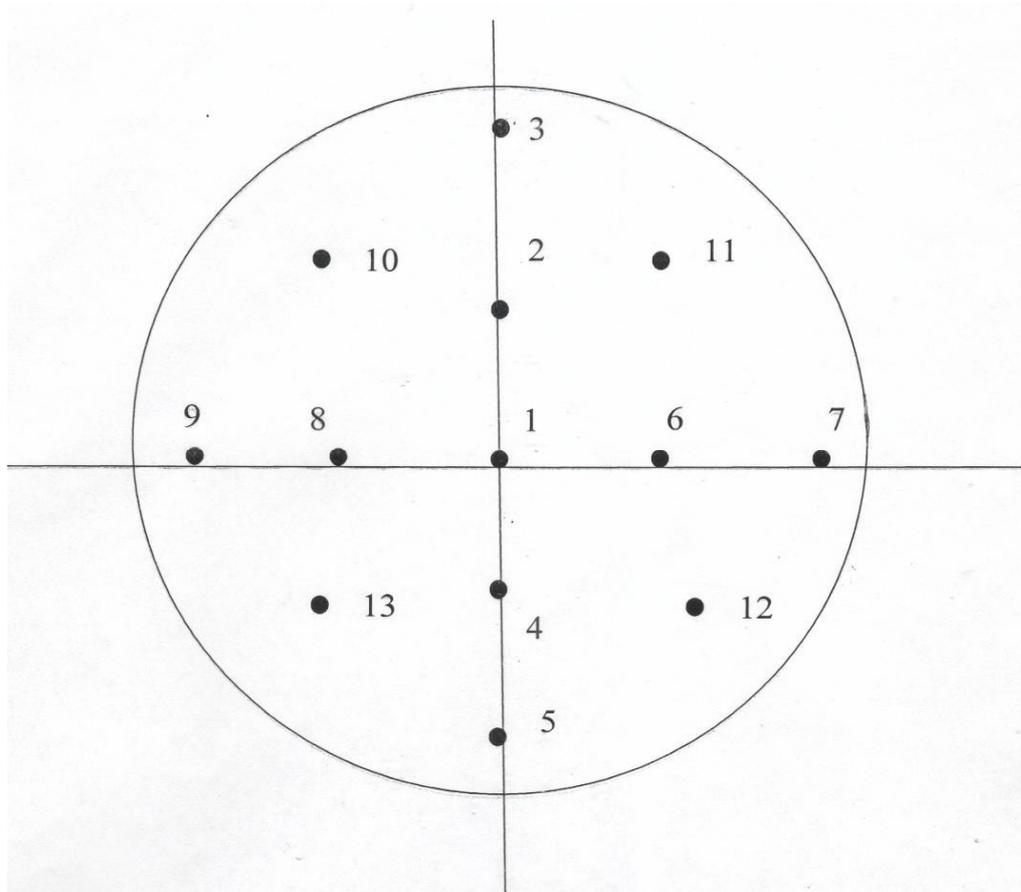


Рис. 3 – Места расположения круговых площадок для определения дисперсного состава пыли, осевшей на поверхности фильтра АФА-РСП-10

Величина размера частицы определялась с помощью объекта-микрометра отраженного света ОМО [15]. Объект-микрометр позволяет определять увеличение, линейное поле зрения микроскопа, цену деления окулярных шкал и сеток. На фотографии, приведенной на рис. 2, линейному размеру частицы 1 мм соответствует величина 2,7 мкм.

Контролируемые на круговых площадках частицы распределяли по фракциям в диапазоне от 100 мкм до 0,1 мкм. По гистограммам распределения частиц устанавливали аэродинамический медианный по активности диаметр $AMAD$ для каждой из круговых площадок. Значения установленных $AMAD$ на 13 круговых площадках одного фильтра АФА-РСП-10 приведены в табл. 2.

Значение коэффициента вариации $AMAD_N$ по количеству частиц N , рассчитанное по [16], равно:

$$n = \frac{1}{E_{cp}} \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_i (E_i - E_{cp})^2} = \frac{1}{1,3209} \sqrt{\frac{2,6158}{12}} = 0,353; \quad (6)$$

Таблица 2 – Значения $AMAD$, установленные счетным методом по количеству частиц пыли $AMAD_N$ и весовым методом по их массе частиц $AMAD_m$ на выделенных круговых площадках пробы пыли на фильтре АФА-РСП-10, отобранной на рабочем месте рукоятчика

N круговой площадки	$AMAD_N$	$(c_i - \bar{c})$	$(c_i - \bar{c})^2$	$AMAD_m$	$(c_i - \bar{c})$	$(c_i - \bar{c})^2$
1	1,620	0,2990	0,0894	5,40	2,319	5,3788
2	1,620	0,2990	0,0894	5,40	2,319	5,3788
3	1,620	0,2990	0,0894	5,40	2,319	5,3788
4	1,620	0,2990	0,0894	7,56	0,159	0,0253
5	1,620	0,2990	0,0894	5,40	2,319	5,3788
6	1,620	0,2990	0,0894	9,72	2,000	4,0040
7	1,620	0,2990	0,0894	7,56	0,159	0,0253
8	1,620	0,2990	0,0894	7,56	0,159	0,0253
9	1,620	0,2990	0,0894	11,85	4,131	17,065
10	0,648	0,6729	0,4528	11,85	4,131	17,065
11	0,648	0,6729	0,4528	11,85	4,131	17,065
12	0,648	0,6729	0,4528	5,40	2,319	5,3788
13	0,648	0,6729	0,4528	5,40	2,319	5,3788
сумма	$\Sigma=17,172$		$\Sigma=2,6158$	$\Sigma=100,35$		$\Sigma=87,542$
среднее	1,3209			7,719		

Примечание: Обозначения в заголовке таблицы: \bar{c} – среднее значение, $(c_i - \bar{c})$ – отклонение от среднего значения, $(c_i - \bar{c})^2$ – квадрат отклонения от среднего величин $AMAD_N$ и $AMAD_m$.

Минимальное количество круговых площадок на поверхности запыленного фильтра АФА-РСП-10, необходимое для определения среднего значения $AMAD_N$ на рабочем месте рукоятчика, рассчитанное по [16], при различных значениях доверительной вероятности P , приведены в табл. 3.

Значение коэффициента вариации $AMAD_m$ по массе частиц пыли, рассчитанное по [16], равно:

$$n = \frac{1}{E_{cp}} \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_i \dot{a}(E_i - E_{cp})^2}; \quad n = \frac{1}{7,719} \sqrt{\frac{87,542}{12}} = 0,345. \quad (7)$$

Таблица 3 – Количество измерений, необходимое для определения среднего значения $AMAD_N$ на рабочем месте рукоятчика

№ пробы, количество круговых площадок	Коэффициент вариации, v	Доверительная вероятность, P	Коэффициент Стьюдента	Расчетное количество измерений, n_p	Принятое количество круговых площадок для оценки ср. значения $AMAD, n$
220, $N=13$	0,353	0,95	2,1788	3,416	4
		0,9	1,7823	2,286	3
		0,8	1,3720	0,730	1

Минимальное количество круговых площадок на поверхности запыленного фильтра АФА-РСИ-10, необходимое для определения $AMAD_m$, соответствующего пыли на всей поверхности фильтра и рассчитанное по [16] при различных значениях доверительной вероятности P , приведено в табл.4.

Таблица 4 – Количество измерений, необходимое для определения среднего значения $AMAD_m$ на рабочем месте рукоятчика

№ пробы, количество круговых площадок	Коэффициент вариации, v	Доверительная вероятность, P	Коэффициент Стьюдента	Расчетное количество измерений, n_p	Принятое количество круговых площадок для оценки ср. значения $AMAD, n$
220, $N=13$	0,345	0,95	2,1788	3,348	4
		0,9	1,7823	2,240	3
		0,8	1,3720	1,290	2

Результаты, приведенные в таблицах 3 и 4 свидетельствуют о том, что для доверительной вероятности $P=0,95$ на поверхности запыленного фильтра необходимо выделить 4 круговых площадки и выполнить на них подсчет частиц пыли с помощью фотографий и шаблона для определения размера частиц. Для доверительных вероятностей 0,9 и 0,8 соответственно необходимо выбрать 3 и 2 круговых площадки и выполнить на них подсчет частиц пыли с помощью фотографий.

Установленный аэродинамический медианный по активности диаметр (по массе частиц) $AMAD_m$ позволяет рассчитать фактическую дозу облучения на данном рабочем месте, обусловленную долгоживущими альфа-активными радионуклидами. Такие исследования необходимо проводить, если на этапе предварительного обследования радиационной обстановки установлено превышение суммарной дозы облучения нормы и при этом в суммарной дозе облучения доля обусловленная ДАН превышает нормируемое значение.

Выводы

1. Проведенные исследования позволили установить, что при оценке радиационной обстановки на контролируемом рабочем месте в процессе измерения ЭРОА радона возможно выполнять определение дисперсного состава пыли в атмосфере угольной шахты с помощью пробы пыли на фильтре радиометра РГА-09МШ.

2. Минимальное количество круговых площадок на поверхности запыленного фильтра АФА-РСП-10, необходимое для определения распределения частиц пыли по размерам счетным методом и установления среднего значения медианного по активности аэродинамического диаметра частиц $AMAD_N$, при значениях доверительной вероятности $P=0,95$ составляет 4 площадки, для $P=0,9$ – 3 площадки, для $P=0,8$ – 1 площадку.

3. Минимальное количество круговых площадок на поверхности запыленного фильтра АФА-РСП-10, необходимое для определения распределения частиц пыли по размерам весовым методом и установления среднего значения медианного по активности аэродинамического диаметра массы частиц $AMAD_m$, при значениях доверительной вероятности $P=0,95$ составляет 4 площадки, для $P=0,9$ – 3 площадки, для $P=0,8$ – 2 площадки.

4. Для определения дисперсного состава пыли, взвешенной в атмосфере данного рабочего места, на фильтре АФА-РСП-10, полученного в радиометре РГА-09МШ для установления активности взвешенной пыли, необходимо выделить в произвольных местах поверхности запыленного фильтра не менее 4 круговых площадок диаметром 450 мкм. На выделенных площадках выполнить подсчет частиц пыли (с помощью фотографий круговых площадок), построить гистограммы распределения частиц по размерам и установить аэродинамический медианный по активности диаметр $AMAD$ взвешенной пыли.

5. Установленное значение $AMAD$ позволят рассчитать эффективную дозу облучения на рабочем месте, обусловленную запыленностью и дисперсным составом взвешенной пыли, т.е. дозу обусловленную ДАН, находящимися в частицах пыли.

Список литературы:

1. МУ 2.6.1.14-2001 Контроль радиационной обстановки. Общие требования: Методические указания [Электронный ресурс] / Портал

нормативных документов – Режим доступа к portalу: www.OpenGost.ru; info@opengost.ru.

2. Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ); Государственные гигиенические нормативы.- Киев: Отдел полиграфии Украинского центра Госсанэпиднадзора Министерства здравоохранения Украины, 1998.- 135 с.

3. МУ 2.6.1.1088-02 Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения [Электронный ресурс]: 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная опасность документов — Режим доступа к документу:<http://meganorm.ru/Index2/1/4294815/4294815024.htm>.

4. Радиационные факторы угольных шахт [Электронный ресурс]: Радиоактивность вокруг нас. — Режим доступа к документу: <http://rad-don.narod.ru/mines.htm>.

5. Короленко Е.Е. Закономерности формирования радиационной обстановки и ее контроль в угольных шахтах Украины: дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.26.01 «Охрана труда» / Е.Е. Короленко Елена Евгеньевна. – Макеевка, 2001. – 155с.

6. МУ 2.6.1.26-2000 Дозиметрический контроль профессионального внутреннего облучения. Общие требования [Электронный ресурс]: 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная опасность — Режим доступа к portalу нормативных документов: www.OpenGost.ru; info@opengost.ru.

7. Кременев О.Г. Расчет допустимого уровня поступления взвешенной пыли в организм горняка / Общегосударственный научный сборник «Научные труды Донецкого национального технического университета», серия «Горно-электромеханическая», №2(26), 2013, Донецк, с.164-174.

8. Ковалевский Л.И. Расчет допустимых уровней радиационно-опасных факторов для горных предприятий. Ядерная и радиационная безопасность, №1 (январь-март), 2000 г., с.91-95.

9. База дозовых коэффициентов: Персонал и население [Электронный ресурс].- ICRP Database of Dose Coefficients: Workers and Members of the Public, Version 3.0, 2011.- Режим доступа к базе: <http://www.icrp.org>.- Название с экрана.

10. НПАОП 10.0-5.24-04 Инструкция по замеру концентрации пыли в шахтах и учету пылевых нагрузок. Утв. приказом Госкомитета Украины по надзору за охраной труда от 26.10.2004 №236.

11. ГОСТ 30108-94 Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов [Электронный ресурс]: Государственный стандарт Российской Федерации.- 1995.- Режим доступа к сайту документа: <http://www.quarta-rad.ru/files/gost>.

12. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах/ П.М. Петрухин, Г.С.Гродель, Н.И. Жилиев и др. М.: Недра, 1981.– 271 с.

13. Справочник горного инженера /под ред. д.т.н., проф. В.К. Бучнева.- М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, 1960, 790 с.

14. Микроскоп металлографический ММО-1600 АТ. Паспорт ММО.1001.1600.00.ПС.- ООО «УКР-ПРОМТЕКС».- Донецк, 2008.

15. Объект-микрометр отраженного света ОМО. Паспорт. Ленинградское оптико-механическое объединение им. В.И.Ленина, Л.- 1990 г.

16. МУ 2.6.1.11-01 Организация радиационного контроля на урановых рудниках и расчет доз облучения персонала [Электронный ресурс]: Методическое обеспечение радиационного контроля на предприятии.– Министерство РФ по атомной энергии; Министерство здравоохранения РФ; Федеральное управление медико-биологических и экстремальных проблем.– Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. – М.: Том 4, 2004.– Режим доступа к документу: <http://www.opengost.ru//2878-mu-2.6.1.11-01-organizaciya-radiacionnogo-kontrolya>.