

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ РАДИОМЕТРА КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Представлены результаты приемных испытаний опытного образца радиометра эквивалентной объемной активности радона РГА-09МШ в условиях действующего отдельного предприятия „Шахта „Холодная Балка” государственного предприятия „Макеевуголь”. По результатам приемных испытаний радиометр рекомендовано к серийному производству и внедрению на шахтах, опасных по газу и пыли.

Особую роль в обеспечении радиационной безопасности угольных шахт играет контроль концентрации (объемной активности) радона в атмосфере, который необходим для определения источников его выделения, расчета потребности шахты в воздухе для проветривания и рационального распределения последнего в сети горных выработок, оценки радиоактивного загрязнения производственных помещений технологического поверхностного комплекса шахты, измерения индивидуальных экспозиций от облучений, присутствующих в угольных шахтах [1].

Радиационная опасность угольных шахт, связанная с естественными радионуклидами, содержащимися в углях и вмещающих породах, – одна из важных и малоизученных проблем угольной отрасли, которая порой недооценивается в современном мире, но требует предельного внимания. Основной вклад в дозу облучения подземного персонала вносят короткоживущие дочерние продукты распада радона и торона, а также долгоживущие радионуклиды ряда урана и тория, присутствующие в шахтной атмосфере в виде аэрозолей.

Один из компонентов радиационного фона в угольных шахтах – гамма-излучение углей и вмещающих пород, обусловленное содержащимися в них радионуклидами естественных семейств урана и тория, а также радиоактивного изотопа калия-40. Гамма-излучение обладает большой проникающей способностью и создает внешнее облучение организма горняков. Мощность дозы гамма-излучения прямо пропорциональна содержанию гамма-излучающих радионуклидов в стенках горной выработки [1]. Вследствие того, что содержание урана-238 и тория-232 в углях и вмещающих породах в подавляющем большинстве случаев не выходит за пределы колебаний естественного фона, гамма-излучение, вопреки широко распространенному мнению, не является сколько-нибудь существенным фактором воздействия на персонал и радиоактивное загрязнение в угольных шахтах. Радиационная обстановка в шахте главным образом зависит от интенсивности проветривания и скорости выделения радона и торона в рудничную атмосферу. Радон и торон высвобождаются из горных пород повсеместно и накапливаются в непроветриваемых или слабо проветриваемых объемах (горные выработки,

выработанное пространство, камеры, тупиковые выработки, ниши и т.п.). В таких местах эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) дочерних продуктов распада радона в воздухе нередко превышает допустимый уровень в десятки и сотни раз, что представляет опасность для здоровья горняков.

Таким образом, измерение концентрации (объемной активности) радона в атмосфере угольных шахт необходимо для обеспечения контроля радиационной безопасности горняков. Однако практическое осуществление такого контроля в угольных шахтах различной категории опасности по газу и пыли сдерживается отсутствием переносных (портативных) приборов во взрывобезопасном исполнении, предназначенных для измерения радона и его дочерних продуктов распада.

Научно-производственным предприятием «Тетра» (ООО НПП «Тетра») разработан радиометр эквивалентной равновесной объемной активности радона РГА-09МШ во взрывозащищенном исполнении (РВ 1В Ia X), предназначенный для использования в угольных шахтах и вариант его невзрывозащищенного исполнения РГА-09МШ1 [2]. Радиометр модификации РГА-09МШ1 использовался на предприятиях ядерно-топливного цикла и горнодобывающей промышленности, но не в шахтах опасных по газу и пыли. В основу функционирования радиометра было заложено одновременное измерение эквивалентной равновесной объемной активности радона-222 и торона (радона-220) в воздухе, а также объемной активности дочерних продуктов распада радона-222: Po-218 (RaA), Pb-214 (RaB), Bi-214 (RaC) при одновременном контроле концентрации метана. В новом варианте конструкции радиометра РГА-09МШ взрывозащита обеспечивается:

- помещением электродвигателя типа ДПР-52 воздуходувки во взрывонепроницаемую оболочку;
- ограничением тока аккумуляторной батареи с помощью резисторов до искробезопасных параметров;
- ограничением мощности, выделяемой на ограничительных резисторах, самовосстанавливающимися предохранителями;
- особыми условиями эксплуатации (знак X в маркировке) – закреплением радиометра за конкретным человеком, ответственным за предотвращение в процессе эксплуатации падений и ударов радиометра.

Макеевским научно-исследовательским институтом по безопасности работ в горной промышленности (МакНИИ) были проведены приемочные испытания радиометра РГА-09МШ в шахтных условиях. Основанием для проведения приемочных испытаний радиометра послужили:

- требования п.30, главы 1, раздела IV Правил безопасности в угольных шахтах;
- статья 18 Горного закона Украины (рациональная добыча, использование полезных ископаемых и охрана недр);
- статьи 3, 13 закона Украины «О защите человека от влияния ионизирующего излучения»;
- статьи 4, 23 закона Украины «Об обеспечении санитарного и эпидемиологического благополучия населения».

Промышленным предприятием, на котором были проведены приемочные испытания радиометра было выбрано обособленное предприятие «Шахта «Холодная Балка» государственного предприятия «Макеевуголь» (ОП «Шахта «Холодная Балка» ГП «Макеевуголь»). Выбор данной шахты обоснован актом выбора места приемочных испытаний радиометра, согласованным Донецко-Макеевской региональной горнотехнической инспекцией и разрешением на проведение приемочных испытаний в условиях шахты «Холодная Балка» ГП «Макеевуголь», выданным территориальным управлением Госгорпромнадзора в Донецкой области №026-86.

Промышленные испытания проводились на основании программы и методики приемочных испытаний радиометра РГА-09МШ.

Основная цель приемочных испытаний опытного образца радиометра РГА-09МШ заключалась в проверке соответствия радиометра РГА-09МШ утвержденному техническому заданию; требованиям стандартов и других нормативных документов; требованиям безопасности и санитарно-гигиеническим нормам; установление возможности постановки радиометра на серийное производство.

Приемочным испытаниям был подвергнут один образец радиометра РГА-09МШ и зарядное устройство ЗУ-05С. Испытания проводили в горных выработках, производственных помещениях технологического комплекса поверхности и обогащения угля и помещениях АБК шахты «Холодная Балка» ГП «Макеевуголь». Испытания радиометра проводили на рабочих местах, располагающихся по маршруту движения воздуха в шахте:

- на поверхности шахты в устье вспомогательного (воздухоподающего) ствола;
- в выработках руддвора, по которым поступает свежий воздух;
- в магистральных выработках, по которым поступает свежий воздух в местах интенсивного пылеобразования (местах погрузки, возле опрокида, на пересыпах магистральных конвейеров);
- в участковых выработках, по которым поступает свежий воздух (конвейерных и откаточных в местах интенсивного пылеобразования);
- в проходческом забое (на свежей и исходящей струе, в забое);
- в очистном забое (в месте сопряжения откаточной или конвейерной выработки с лавой, в нижней нише; верхней нише, сопряжении верха лавы с вентиляционной выработкой);
- в участковых и магистральных вентиляционных выработках;
- в выработках, подходящих к вентиляционному стволу, бункерам и загрузкам скипового ствола;
- в помещениях технологического комплекса и обогащения угля, подземных переходах и галереях, помещениях АБК.

Основные задачи приемочных испытаний заключались в проверке выполнения функций, осуществляемых с помощью радиометра РГА-09МШ:

- отбор проб взвешенной пыли в шахтном воздухе путем прокачки воздуха через фильтр АФА-РСП-10 [3];
- регистрация альфа-излучения дочерних продуктов распада радона (ДПР) и торона (ДПТ) в шахтном воздухе и во взвешенной пыли, осевших на

фильтр во время прокачки воздуха, путем определения количества альфа-частиц в соответствующие промежутки времени;

• автоматическое определение:

1) В режиме работы радиометра «Измерение ДПР» (путем расчета по алгоритму количества зарегистрированных в соответствующие промежутки времени альфа-частиц дочерних продуктов распада радона, осевших на фильтр) без учета влияния торона (радона-220):

- объемной активности (концентрации) дочерних продуктов распада (ОА ДПР) радона-222 (C_a, C_b, C_c);

- ЭРОА радона-222 ($C_{ДПР}$);

- объемной концентрации радона $C_{\text{радон}}$;

- коэффициента равновесия F между радоном и продуктами его распада;

- кратности воздухообмена λ ;

2) В режиме работы радиометра «Измерение ДПТ» (путем расчета по алгоритму количества зарегистрированных в соответствующие промежутки времени альфа-частиц дочерних продуктов распада радона, осевших на фильтр) с учетом влияния торона (радона-220):

- объемной активности (концентрации) дочерних продуктов распада (ОА ДПР) радона-222 (C'_a, C'_b, C'_c);

- ЭРОА радона-222 ($C'_{ДПР}$);

- ЭРОА торона (радона-220) ($C_{ДПТ}$);

- объемной концентрации радона $C'_{\text{радон}}$;

- коэффициента равновесия F' между радоном и продуктами его распада;

- кратности воздухообмена λ' .

Кроме этого осуществлялись:

- индикация результатов измерений, информации о результатах измерений в режиме «Архив», выполнения режима «Работа с ПЭВМ», режимов работы и тестирования состояния РГА-09 МШ и зарядного устройства ЗУ-05С;

- определение запыленности шахтного воздуха в месте измерения;

- проверка работоспособности радиометра в реальных условиях эксплуатации (обеспечение стабильности работы, установление фактических показателей надежности устройства);

- установление эксплуатационных и конструктивных недостатков.

Проведенные испытания подтвердили соответствие радиометра РГА-09МШ и зарядного устройства ЗУ-05С требованиям технического задания, конструкторской и нормативной документации, а также требованиям промышленной эксплуатации в условиях шахты, опасной по газу и пыли. Радиометр обеспечивает выполнение функций и соответствует характеристикам, предусмотренным техническим заданием.

Во время испытаний радиометра были выявлены конструктивные и эксплуатационные недостатки:

1. Входное окно узла измерения и входное отверстие выходного патрубка узла воздуходувки необходимо закрыть крышками для предотвращения попадания пыли в узлы измерения и воздуходувки.

2. Входное окно воздуходувки необходимо оснастить устройством для крепления патрона с насадками разного диаметра для уравнивания скорости воздуха в горной выработке и скоростью прокачки воздуха через фильтр в воздуходувке (выполнения условия изокинетичности потоков воздуха).

3. Детектор полупроводниковый и платы электроники необходимо экранировать металлическим экраном (кроме входного окна).

4. К функциям, выполняемым радиометром РГА-09МШ добавить измерение концентрации взвешенной пыли, реализуемое путем взвешивания чистого и запыленного фильтров после прокачки установленного объема воздуха.

5. Кабель для подключения радиометра к ПЭВМ имеет разъем типа D-Sub. В современных персональных компьютерах таких разъемов нет. Необходим переходник с разъема типа D-Sub на разъем типа USB (DVI) или замена разъема типа D-Sub на разъем типа USB (DVI).

6. На графический дисплей радиометра вывести информацию (пиктограмму), отображающую степень энергоемкости (заряда) аккумуляторной батареи.

7. Для переноски из шахтных выработок запыленных фильтров необходим контейнер с жестким корпусом.

8. Электромагнитное излучение мобильных телефонов на расстоянии до 30 м вносит помехи в работу радиометра.

9. В Руководстве по эксплуатации на с.14 в п.3.3.3.7 длительность паузы в 2 минуты заменить на 3 минуты.

В протоколе приемочных испытаний были изложены мероприятия и по устранению выявленных недостатков, которые были реализованы в радиометре и конструкторской документации.

10. Для устранения недостатков по п.п.1, 3 предлагается узел измерения накрывать металлическим колпаком-экраном как во время измерений, так и во время транспортирования радиометра. Выходное отверстие выходного патрубка узла воздуходувки оснастить крышкой, которая открывается во время прокачки воздуха и закрывается когда прокачка прекращается.

11. Для устранения недостатка по п. 2 предлагается зажим-держатель фильтра, накладываемый на входное окно воздуходувки оснастить креплением для установки патрона с насадками: трубками разного внутреннего диаметра (от 8 до 30 мм). и переходником для крепления стандартного держателя фильтра типа АФА-РСП-10.

12. Для устранения недостатков по п.4, 9 предлагается «Руководство по эксплуатации РГА-09МШ» п.1.1.2 дополнить абзацем следующего содержания:

«Радиометр РГА-09МШ используется для определения концентрации взвешенной пыли в угольных шахтах путем взвешивания чистого и запыленного фильтра после прокачки через него шахтного воздуха».

В п.3.3.3.7 «Руководства по эксплуатации РГА-09МШ» (с.14) заменить запись «2 минуты» на «3 минуты».

13. Для устранения недостатка по п.5 предложено комплект поставки радиометра дополнить переходником с разъема D-Sub на разъем типа USB (DVI).

14. Для устранения недостатка по п.6 предлагается в программное обеспечение добавить алгоритм вывода на графический дисплей информации (пиктограммы) о степени разряда аккумуляторной батареи.

15. В перечень состава изделия добавить контейнер с жестким корпусом для переноски запыленных фильтров.

Приемочными испытаниями подтверждены следующие основные технические характеристики радиометра РГА-09МШ.

1. Диапазон измерения радиометра РГА-09МШ составляет:

- ЭРОА радона-222: от 5 до 10^4 Бк·м⁻³ ;
- ЭРОА торона (радона-220): от 0,5 до 10^3 Бк·м⁻³ ;
- ОА ДПР радона-222: от 5 до 10^4 Бк·м⁻³.

Радиометр обеспечивает возможность измерения ЭРОА радона, ЭРОА торона и ОА ДПР радона двумя методами: методом Маркова и методом Томаса.

Соответствие радиометра требованиям этого пункта обеспечивается схемотехническими решениями и работой внутренних вычислительных алгоритмов программного обеспечения.

2. Предел основной относительной погрешности радиометра при измерении ЭРОА радона-222 и ОА ДПР радона-222 составляет ± 30 % с доверительной вероятностью $P=0,95$.

Предел основной относительной погрешности радиометра при измерении ЭРОА радона-220 (торона) составляет ± 30 % с доверительной вероятностью $P=0,95$.

3. Объемный расход воздуха, создаваемый узлом воздуходувки радиометра, не меньше 20 ± 1 л·мин⁻¹.

4. Чувствительность радиометра к альфа-излучению изотопа плутония Pu-239 (эталонный источник типа 1П9) – не менее $0,25$ с⁻¹·Бк⁻¹.

5. Время установления рабочего режима после подачи электропитания на радиометр – 2 мин.

Продолжительность измерения (длительность цикла) в режиме измерения ОА ДПР, ЭРОА радона, включая прокачку воздуха в течение 5 мин.:

- для метода Маркова – 15 мин,
- для метода Томаса – 35 мин.

Продолжительность измерения ЭРОА торона (после выдержки аспирированных фильтров в течение 5 - 24 часов после окончания прокачки) – 30 мин.

6. Собственный фон радиометра – не превышает $0,1$ с⁻¹.

7. Показатели надежности

Средняя наработка на отказ – не менее 1000 циклов.

Назначенный срок службы – 6 лет.

8. Конструктивные показатели

8.1. Степень защиты корпуса радиометра с закрытым воздухозаборным трактом от проникновения воды, пыли и посторонних предметов – не ниже IP54 по ГОСТ 14254.

8.2. Радиометр имеет уровень взрывозащиты РВ по ГОСТ 12.2.020, обеспечиваемый видами взрывозащиты «Взрывонепроницаемая электрическая оболочка «d» по ДСТУ 7114:2009 (подгруппа электрооборудование 1В), «Искробезопасная электрическая цепь» уровня Ia по ГОСТ 22782.5 и специальным видом взрывозащиты по ГОСТ 22782.3.

8.3. Габаритные размеры и масса:

радиометр РГА-09 МШ – 230x160x150мм; масса – 3,6 кг;

зарядное устройство ЗУ-05С – 100x80x50мм; масса – 0,3 кг.

8.4. Конструктивные элементы радиометра: оболочки, вводы, элементы крепления частей оболочек, аккумуляторной батареи и блокировки – соответствуют требованиям ДСТУ 7113:2009.

9. Показатели электропитания

9.1. Номинальное значение напряжения питания постоянного тока радиометра находится в пределах от 12В до 16В и генерируется от аккумуляторов типоразмера АА емкостью не менее 2100 мА•час каждый.

9.2. Время непрерывной работы радиометра при питании от свежезаряженных аккумуляторов составляет не менее 8 часов. При этом нестабильность показаний радиометра не превышает $\pm 10\%$ относительно среднего значения показаний за этот промежуток времени.

9.3. Питание радиометра исполнения РГА-09МШ осуществляется от встроенного в узел воздухоудвки аккумуляторного устройства питания, имеющего вид взрывозащиты – Искробезопасная электрическая цепь.

9.4. Зарядка аккумуляторов осуществляется с помощью зарядного устройства ЗУ-05С, подключаемого к общепромышленной электрической розетке сети 220 В, 50 Гц и к разъему РС7 радиометра. Зарядка производится при выключенном радиометре. Максимальный ток зарядки – 20 мА, время зарядки – 14 часов.

10. Емкость энергонезависимой памяти, предназначенной для хранения результатов измерений, обеспечивает хранение информации о результатах измерений активности 99 аспирированных фильтров типа АФА-РСП-10.

Выводы

1. Результаты приемочных испытаний подтвердили работоспособность радиометра РГА-09МШ, его соответствие техническим характеристикам и параметрам, заложенным в техническом задании и рабочей документации.

2. Радиометр РГА-09МШ приемочной комиссией рекомендован к серийному производству и использованию в шахтах, опасных по газу и пыли [4].

Список литературы:

1. Романов С.М. Актуальность радиационного контроля на угольных шахтах и разрезах / С.М. Романов, А.А. Шилов, О.Н. Гурьянова // Безопасность труда в промышленности.- 2009.- № 8.- с. 11-15.

2. Радиометр эквивалентной равновесной объемной активности радона РГА-09МШ (РГА-09МШ1). Руководство по эксплуатации АЖАХ.412123.008РЭ.- ООО НПП «Тетра», г. Желтые Воды, 2012, 26 с.

3. Аналитические фильтры АФА-РСП. Паспорт ТУ 95 1892-89.

4. Разрешение № 542.14.15 на использование горнотехнического оборудования, а именно: радиометра эквивалентной равновесной объемной активности радона РГА-09МШ, изготовленного НПП «ТЕТРА» в соответствии с техническим заданием АЖАХ.412123.008 ТЗ Государственной службы горного надзора и промышленной безопасности Украины Криворожского горнопромышленного территориального управления Госгорпромнадзора.