

Г.П. Сидорова, В.А. Овсейчук

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ АКТИВНОСТИ В УГЛЯХ

Основными потребителями угля на внутреннем рынке являются электростанции и коксохимические производства. Одним из самых уязвимых мест угольных технологий производства электроэнергии являются экологические проблемы. Увеличение объемов использования угля на ТЭС соответственно приведет и к их увеличению. Радиационная опасность угледобывающих предприятий и угольных ТЭС, связанная с естественными радионуклидами, содержащимися в углях – одна из важных проблем угольной энергетики. Действующими в настоящее время НРБ – 99/2009, определены ограничения содержания радионуклидов только в продуктах сжигания углей (зола, шлак), при использовании их в строительных целях. Отсутствие нормативных документов приводит к значительным трудностям при организации систем контроля радиационного качества угля, определяющего требования к содержанию радионуклидов в сжигаемых углях. В результате опытных работ авторами была разработана система геофизического контроля качества угля по радиационно-гигиеническому фактору, которая базируется на понятии удельной эффективной активности ($A_{эфф}$ Бк/кг). Предложенная система контроля качества угля обеспечивает представительное экспрессное определение удельной эффективной активности с достаточной для радиоэкологических требований точностью единичного измерения.

Ключевые слова. Уголь, естественные радионуклиды, уран, радиоактивность, зола, шлак, удельная активность, выбросы, гамма-калортаж, гамма-опробование, гамма-экспресс анализ.

Россия является одним из мировых лидеров по производству угля. В ее недрах сосредоточена треть мировых ресурсов угля и пятая часть разведанных запасов – 193,3 млрд т. Из них 101,2 млрд т бурого угля, 85,3 млрд т каменного угля (в том числе 39,8 млрд т коксующего угля) и 6,8 млрд т антрацитов [1].

В пределах Российской Федерации находятся 22 угольных бассейна и 129 отдельных месторождений. Добыча угля ведется в 7 федеральных округах, 25 субъектах Российской Федерации и в 85 муниципальных образованиях России, из которых 58 являются углепромышленными территориями на базе градообразующих угольных предприятий [1].

В отечественной угольной промышленности на 01.10.2014 г. действуют 185 угледобывающих предприятий (74 шахты и 111 разрезов) [1].

В России уголь потребляется во всех субъектах Российской Федерации. Основные потребители угля на внутреннем рынке – это электростанции и коксохимические производства.

В 2013 г. из общей российской добычи угля было добыто 269,7 млн т энергетических углей и 82,3 млн т углей для коксования [1].

Одним из самых уязвимых мест угольных технологий производства электроэнергии являются экологические проблемы. Увеличение объемов использования угля на ТЭС соответственно приведет и к увеличению экологических проблем [2].

Для российских угольных энергоблоков характерны:

- недостаточный уровень технологии улавливания и хранения золы и шлаков;
- очень высокие выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, в частности, летучей золы.

Практически на всех угольных ТЭС отсутствуют системы очистки дымовых газов от оксидов серы и азота.

В публикациях, посвященной экологическому влиянию ТЭС России на окружающую среду, в частности, проблеме ЗШО, выбросов в атмосферу CO_2 , оксидов серы, азота и летучей золы уделяется большое внимание. Опыт решения экологических проблем с этими выбросами от ТЭС освещен во множестве книг и статей. Существуют и соответствующие государственные программы по снижению таких выбросов [3, 4]. Однако, влиянию микроэлементов и радионуклидов, находящихся в составе углей и в продуктах их сжигания, их негативному воздействию на окружающую среду и здоровье людей уделяется несопоставимо меньшее внимание.

Радиационная опасность угледобывающих предприятий и угольных ТЭС, связанная с естественными радионуклидами, содержащимися в углях – одна из важных проблем угольной энергетики, которая недооценивается в современном мире, но требует предельного внимания.

Топливная энергетика на угле относится к числу наиболее крупных источников загрязнения окружающей среды радионуклидами, однако серьезных шагов по ограничению выбросов ЕРН с продуктами сжигания углей не предпринимается. Нормы радиационной безопасности от НРБ-76 до НРБ-99/2009 ограничивают только применение шлаков в строительных це-

лях [4, 5]. Аналогичные ограничения устанавливают Санитарные правила СП 2.6.1.798-99 «Обращение с минеральным сырьем и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов» [8].

Содержание естественных радионуклидов в добываемом угле не контролируется, и угли с повышенным содержанием ЕРН поступают к потребителю, что приводит к дополнительной нагрузке на окружающую среду за счет выбросов из труб радиоактивных аэрозолей и образования золы с повышенным содержанием радиоактивных элементов. В настоящее время существующими документами по ПДВ определены нормы по ограниченному перечню загрязняющих веществ: диоксида азота; оксида азота; диоксида серы; золы твердого топлива; мазутной золы ТЭС; оксида углерода; сажи и бензапирена. Выбросы других загрязняющих веществ, содержащихся в дымовых газах, и выбросы от прочих источников основных и вспомогательных цехов и производств ТЭС при разработке проекта нормативов ПДВ не нормируются и не подлежат контролю. Серьезную проблему вблизи ТЭС представляет складирование золы и шлаков. Они занимают значительные территории, которые не только не используются долгое время, но и являются очагами накопления тяжелых металлов и повышенной радиоактивности [5].

Угли с повышенным содержанием естественных радионуклидов встречаются практически повсеместно. Проведенная в 1991–1996 гг. лабораторией радиационной экологии ВНИПИПТ, оценка радиационной обстановки на 136 из 200 действующих на тот период в России шахт и разрезов, показала, что на отдельных угольных предприятиях, содержание радия и тория в определенной части углей находится в диапазоне от 100 до 1000 Бк/кг [2].

Угли с повышенным содержанием радионуклидов имеются не только в России. По оценке Научного комитета ООН по действию атомной радиации, ожидаемая коллективная эффективная доза облучения населения, связанная с использованием угля, составляет во всем мире – 100 тыс. чел.- Зв/год. Из них в пределах СНГ около 20 тыс. чел.- Зв/год [из материалов слушаний «Об обеспечении радиационно-экологической безопасности в топливно-энергетическом комплексе России», в Комитете по экологии Государственной думы 17 июля 1997 г.].

Отсутствие нормативных документов приводит к значительным трудностям при организации систем контроля радиационного качества угля, определяющего требования к содержанию радионуклидов в сжигаемых углях.

Имеются примеры эпизодического контроля угля на отдельных месторождениях с помощью различных типов гаммаспектрометрической аппаратуры (переносной и стационарной, с отбором проб по определенной сети). Но данная работа не ведется на регулярной основе и поэтому получаемые результаты контроля непредставительны.

В результате опытных работ авторами была разработана система геофизического контроля качества угля по радиационно-гигиеническому фактору, которая базируется на понятии удельной эффективной активности ($A_{эфф}$, Бк/кг), принятом из практики радиационной оценки материалов, используемых в строительстве (в том числе шлака и золы) и определяется уравнением, приведенным в НРБ – 99/2009:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,31 A_{Th} + 0,085 A_K, \text{ Бк/кг}$$

где A_{Ra} , A_{Th} – удельные активности Ra – 226 и Th – 232, находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого семейств; A_K – удельная активность K-40.

Предложенная система контроля качества угля обеспечивает представительное экспрессное определение удельной эффективной активности с достаточной для радиозэкологических требований точностью единичного измерения [6].

Функционально система радиационно-гигиенического контроля работает следующим образом:

1) Гамма-каротаж на этапах детальной и эксплуатационной разведок выполняется в скважинах колонкового и шнекового бурения с использованием аппаратуры ПРМК-102 «Обь», «Прометей-Р-1Н» и каротажных станций СК-1-74, СКС-2АУ-01 в комплексе с кавернометрией.

Минимальная определяемая удельная эффективная активность при непрерывной записи результатов гамма-каротажа на ленту при скорости не более 50 м/ч составляет 5,3 Бк/кг, при точечном каротаже при времени измерения на точках равном $t = 10$ с, составляет 4,1 Бк/кг.

Результаты гамма-каротажа используются для составления погоризонтных карт качества, проектов развития разреза, перспективного и текущего планирования добычи угля по сортам. Методика гамма-каротажа стандартная.

2) Гамма-опробование забоев экскаваторов проводится с целью оперативного контроля подготовленных к отработке блоков угля радиометром направленного приема ПРН-4-01М. Минимальная определяемая удельная активность при опробовании угля составляет 9,9 Бк/кг.

Методика гамма-опробования в естественном залегании угля (в забоях) и на штабелях угольного склада разработана и применена на углях впервые и состоит из 3-х разделов:

1. Аппаратура. Методы подготовки ее к работе, особенности эксплуатации и ремонта

Для гамма-опробования угля в естественном залегании и на штабелях угольного склада, применяется прибор рудничный направленного приема ПРН-4-01, модернизированный с целью повышения чувствительности и использования в одноканальном варианте измерений (увеличение чувствительности прибора к гамма-излучению в 10 раз и отключение от измерительной схемы компенсационного канала).

С целью обеспечения работоспособности приборов не реже одного раза в полгода проводится градуирование и контрольная проверка рабочих характеристик прибора в лаборатории. На рабочем месте ведется ежесменный контроль чувствительности приборов.

При гамма-опробовании углей возможно применение других приборов в соответствии с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации, с использованием предлагаемой методики контроля.

Методы подготовки прибора к работе, особенности эксплуатации и ремонта предусмотрены специальной инструкцией.

Стабильность работы приборов контролируется проверкой чувствительности до и после окончания смены путем расчета среднего квадратического отклонения S за отчетный период:

$$S = \left(\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(J\Delta i - J\Delta^{on})^2}{J\Delta^{on}}} \right) \cdot 100\%$$

где n – количество проверок контроля чувствительности; $J\Delta^{on}$ – опорное значение интенсивности от рабочего эталона; $J\Delta i$ – рядовое значение интенсивности от рабочего эталона.

Значение S для нормально работающей аппаратуры не должно превышать 7.

Контрольное гамма-опробование углей выполняется с помощью другого аналогичного прибора в условиях рядового опробования, в объеме не менее 10% от общего количества наблюдений.

2. Методика и техника проведения гамма-опробования

Методика и техника проведения гамма-опробования предусматривает разбивку профилей на участках опробования с шагом в 1 м, с подробной привязкой профиля (горизонт, блок, сектор,

репер и т.д.). Замеры прибором ведутся в намеченных точках опробования. Все записи производятся в специальном журнале, в котором кроме привязки и значений замеров в делениях шкалы, указываются также характерные особенности, такие как наличие тектонических нарушений, зоны окисления, изменение структуры угля и т.д. Гамма-опробование углей на штабелях производится с разбивкой сети профилей с отметкой точек наблюдения на плане. В специальном журнале делается подробная привязка профилей (или сети профилей) с указанием данных штабеля, номера слоя и т.д.

Расстояние между точками наблюдений по профилю принимается равным 2 м, между соседними профилями – 2 м. Измерения проводятся на высоте не менее 1 м от подошвы штабеля.

Оценка воспроизводимости наблюдений осуществляется на основании сопоставления основного и контрольного опробования за прошедший месяц путем расчета величины среднего квадратического относительного расхождения

$$S = \sqrt{\frac{2}{n}} (C_0^i - C_k^i / C_0^i + C_k^i)^2 \cdot 100\%,$$

где C_0^i , C_k^i – соответственно содержание радиоактивных элементов в точке наблюдения i при основном и контрольном гамма-опробовании; n – количество точек наблюдений.

Результаты отдельных определений C_0^i и C_k^i не должны отличаться более чем на 10%, а погрешность измерений при $n > 20$ не должна превышать 20%.

Оценка достоверности гамма-опробования осуществляется на основании специальных опытно-методических работ. Для текущего контроля достоверности гамма-опробования используются результаты анализов суточных проб на уран, радий, коэффициент радиоактивного равновесия.

Результаты гамма-опробования признаются достоверными в случае расхождения с результатами геологического опробования менее 10%. В противном случае принимаются меры к выявлению и устранению причин расхождения.

3. Обработка результатов гамма-опробования

Обработка результатов гамма-опробования заключается в пересчете показаний прибора, выраженных в делениях шкалы, в значения интенсивности, выраженных в мкР/час, в расчете средней интенсивности по профилю (штабелю):

$$J = J_1 + J_2 + \dots J_{\text{ан}} / n,$$

где J средняя интенсивность по профилю (штабелю), мкР/час; J_1, J_2, J_n – интенсивность в точках наблюдений, мкР/час; n – количество точек наблюдений.

Расчет содержаний урана (C_u) по интегральной гамма – активности проводится по выведенному уравнению регрессии, на основании определения пересчетных коэффициентов, которые определены экспериментально

$$C_u = C_{Ra} - N_{Th} / K_{pp},$$

где C_{Ra} – содержание радия, %; N_{Th} – поправка на влияние тория; K_{pp} – коэффициент радиоактивного равновесия.

Поправка на калий не учитывается ввиду незначительности его вклада.

Средние значения тория и калия определяются не только для каждого пласта и блока, но и для каждого сектора. Эти показатели участвуют в расчете радиационно-гигиенических параметров для каждого сектора, при составлении погоризонтных карт качества.

3) Гамма-экспресс анализ угля в автосамосвалах. Оперативный контроль и сортировка текущей добычи угля осуществляется посамосвально по разработанной авторами методике на радиометрической контрольной станции (РКС), оборудованной аппаратурой «Алмаз». Минимальная определяемая эффективная удельная активность в транспортной емкости составляет 20 Бк/кг.

Предложенная методика гамма-экспресс анализа угля в автосамосвалах состоит из:

- определения эксплуатационных характеристик радиометрической контрольной станции, которые включают в себя экспериментальный выбор геометрии измерения, определение величины натурального фона, определение погрешностей измерения, определение величины нулевого фона, определение пересчетных коэффициентов;

- модернизации и настройки аппаратуры;
- схемы замера и сортировки автосамосвалов с углем;
- обработки результатов измерений, которая заключается в определении содержаний урана в угле с естественной влажностью. Расчет производится по эмпирической формуле, выведенной авторами экспериментально:

$$C = \frac{\sum J_{umn}}{n} \cdot 7,2 \cdot 10^{-6} \cdot 100 - \frac{W_{max}}{100\%},$$

где $\sum J_{\text{имп}}$ – сумма импульсов по всем автосамосвалам; n – количество автосамосвалов; W_{max} – максимальная влагоемкость угля, %; $7,2 \cdot 10^{-6}$ – пересчетный коэффициент, определенный в результате опытно-методических работ методом расчета:

$$C_u^d / Ni^r = 7,2 \cdot 10^{-6},$$

где C_u^d – содержание урана в сухом топливе; Ni^r – аналитический параметр РКС.

Разработанные методики гамма-опробования угля в естественном залегании и в штабелях угольного склада и гамма-экспресс анализа угля в автосамосвалах применены на Уртуйском бурогольном месторождении в Забайкалье. Статистические данные показывают их эффективность разработанных методик, так для углей сорта:

- Потребительские или бытовые – допустимое содержание условного урана – 0,001% или менее 123 Бк/кг (в среднем по месторождению – 100 Бк/кг). Угли этого сорта можно продавать населению и сторонним потребителям, а так же сжигать на ТЭС, как в смеси, так и без нее.

Статистические данные за период 1989–2010 гг. показывают, что его эффективная активность составляет в среднем 77,5 Бк/кг, что соответствует I классу материалов по СанПиН 2.6.1.2523-09.

- Энергетические угли – допустимое содержание условного урана от 0,001 до 0,01% или от < 123 до 1230 Бк/кг (в среднем по месторождению – 370 Бк/кг). Характеризуются повышенными концентрациями радионуклидов. Используются только на ТЭС г. Краснокаменска, где производится организационный сбор, удаление и хранение отходов.

Статистические данные за период 1989–2010 гг. показывают, что его эффективная активность составляет в среднем: в угле – 185 Бк/кг, что соответствует I классу материалов по СанПиН 2.6.1.2523-09; в золе – 1602 Бк/кг – что соответствует 3 классу материалов и имеет ограниченное использование; в шлаке – 1025 Бк/кг, соответствует 2 классу материалов [9].

Предложенные методики контроля радиационно-гигиенических показателей угля в процессе добычи, транспортировки и складирования могут использоваться на любых угольных месторождениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таразанов И. Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-сентябрь 2014 года // Уголь. – 2014. – № 12. – С. 58–73.

2. Крылов Д. А., Овсейчук В. А., Сидорова Г. П. Радиоактивность углей // Энергия: экономика, техника, экология. — 2015. — № 5. — С. 2–11.

3. Сидорова Г. П., Крылов Д. А. Оценка содержания радиоактивных элементов в углях и продуктах их сжигания // Горный информационно-аналитический бюллетень. — № 7. — 2015. — С. 369–377.

4. Крылов Д. А., Сидорова Г. П. Пути снижения экологического воздействия на окружающую среду угольных ТЭС // Горный информационно-аналитический бюллетень. — № 11. — 2015 — С. 277–286.

5. Сидорова Г. П., Крылов Д. А., Якимов А. А. Экологическое воздействие на окружающую среду угольных ТЭС // Вестник ЗабГУ. — № 9. — 2015. — С. 28–38.

6. НРБ-99/2009 (СанПиН 2.6.1.2523-09) Нормы радиационной безопасности. — М.: Минздрав России. — 2009. — 26 с.

7. ОСПОРБ-99/2010 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности. — М.: Минздрав России. — 2011. — 36 с.

8. СП 2.6.1.798-99 Обращение с минеральным сырьем и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов. — М.: Минздрав России. — 2000. — 9 с.

9. Овсейчук В. А., Сидорова Г. П. Ураноносность бурых углей Забайкалья. Монография. — Чита: Из-во ЗабГУ. — 2013. — 192 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Сидорова Галина Петровна*¹ — доктор технических наук, профессор, e-mail: druja@inbox.ru,

*Овсейчук Василий Афанасьевич*¹ — доктор технических наук, профессор, e-mail: prmpi_chitgu@mail.ru,

¹ Забайкальский государственный университет.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 8, pp. 369–378.

UDC
621.039.7

G.P. Sidorova, V.A. Ovseychuk

DETERMINATION OF SPECIFIC EFFECTIVE ACTIVITY IN THE COALS

The main consumers of coal in the domestic market of electric power plants generated and coke production. One of the most vulnerable places of coal power generation technologies are environmental problems. The increased use of coal to power stations will consequently lead to their increase.

Radiation hazard of coal mines and coal-fired power plants associated with the natural radionuclides contained in coals is one of the important problems of coal power.

The current NRB – 99/2009, sets limits of radionuclides only in the products of coal combustion (ash, slag), when used in construction purposes.

The lack of regulations leads to considerable difficulties in providing systems to monitor the radiation quality of coal that defines the requirements for the content of radionuclides in the combusted coal.

As a result of experimental work the authors developed a system of geophysical control of coal quality on radiation-hygienic factor, which is based on the concept of specific effective

activity (Aeff, Bq/kg). The proposed system of quality control coal Express provides a representative determination of specific effective activity with sufficient radiological requirements for precision of a single measurement.

Key words. Coal, natural radionuclides, uranium, radioactivity, ash, slag, specific activity, emissions, gamma-ray logging, gamma-ray testing, gamma-rapid analysis.

AUTHORS

*Sidorova G.P.*¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: druja@inbox.ru,

*Ovseychuk V.A.*¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: prmpi_chitgu@mail.ru,

¹ Transbaikal State University, 672039, Chita, Russia.

REFERENCES

1. Tarazanov I. G. *Ugol'*. 2014, no 12, pp. 58–73.
2. Krylov D. A., Ovseychuk V. A., Sidorova G. P. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*. 2015, no 5, pp. 2–11.
3. Sidorova G. P., Krylov D. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, no 7. 2015, pp. 369–377.
4. Krylov D. A., Sidorova G. P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, no 11. 2015 S. 277–286.
5. Sidorova G. P., Krylov D. A., Yakimov A. A. *Vestnik ZabGU*, no 9. 2015, pp. 28–38.
6. *Normy radiatsionnoy bezopasnosti NRB-99/2009 (SanPiN 2.6.1.2523-09)* (Radiation safety standards (Sanitary rules and regulations 2.6.1.2523-09)), Moscow, Minzdrav Rossii, 2009, 26 p.
7. *Osnovnye sanitarnye pravila obespecheniya radiatsionnoy bezopasnosti OSPORB-99/2010* (Basic sanitary regulations for radiation safety OSPORB-99/2010), Moscow, Minzdrav Rossii, 2011, 36 p.
8. *Obrashchenie s mineral'nym syr'em i materialami s povyshennym soderzhaniem prirodnikh radionuklidov SP 2.6.1.798-99* (Handling of minerals and materials with increased content of natural radionuclides SP 2.6.1.79899), Moscow, Minzdrav Rossii, 2000, 9 p.
9. Ovseychuk V. A., Sidorova G. P. *Uranonosnost' burykh ugley Zabaykal'ya*. Monografiya (Uranium content of lignites in Transbaikal area. Monograph), Chita, Iz-vo ZabGU, 2013, 192 p.



НЕ УСТАЛО НЕБО ПЛАКАТЬ...

ДЕРЖИТЕСЬ ПОДАЛЬШЕ ОТ ЛЮБИТЕЛЕЙ ЖИЗНИ ЗА ЧУЖОЙ СЧЕТ

Эти люди постоянно находятся в поисках человека-донора. Само по себе желание жить за чужой счет безнравственно, следовательно, предполагает предательство, воровство, безделье. А если таким людям нельзя доверять, они опасны. Им просто предать товарища, семью, родину, убить собственных детей – это тоже следствие патернализма.

Продолжение на с. 390