

С.В. Быткин⁽¹⁾, зам. директора, к.т.н.
В.М. Литвин⁽¹⁾, директор по маркетингу и ВЭД, к.э.н.
Е.Г. Радин⁽¹⁾, начальник РИЗЛ
Т.В. Критская⁽²⁾, профессор, д.т.н.
Б.П. Середа⁽²⁾, зав. кафедрой, д.т.н., профессор
С.Н. Клименко⁽²⁾, магистрант

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕТАЛЛОПРОКАТА ОАО «МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ «ЗАПОРОЖСТАЛЬ»

⁽¹⁾ ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь», г. Запорожье,

⁽²⁾ Запорожская государственная инженерная академия

Досліджено зразки сталі після виплавлення у мартенівських печах ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь». Виплавлені партії сталі використовують для виробництва всіх видів металопрокату. Проведений контроль 37 різних плавок на наявність ізотопів Co_{60} , Cs_{137} , Ra_{226} , Th_{232} , K_{40} . Результати проведення експериментів і виконання необхідних розрахунків відповідно до програми MATHCAD показали, що досліджений метал практично не забруднений природними та техногенними радіонуклідами (Co_{60} , Cs_{137} , Ra_{226} , Th_{232} , K_{40}). Проконтрольовані партії металу відносяться до першого класу застосування за радіаційним чинником.

Исследованы образцы стали после выплавки в мартеновских печах ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь». Выплавленные партии стали используют для производства всех видов металлопроката. Произведен контроль 37 различных плавок на наличие изотопов Co_{60} , Cs_{137} , Ra_{226} , Th_{232} , K_{40} . Результаты проведенных экспериментов и выполнение необходимых расчетов в соответствии с программой MathCAD показали, что исследованный металл практически не загрязнен естественными и техногенными радионуклидами (Co_{60} , Cs_{137} , Ra_{226} , Th_{232} , K_{40}). Проконтролированные партии металла относятся к первому классу применения по радиационному фактору.

Введение. Несанкционированный оборот радиоактивных металлоотходов, а также сырья с повышенным содержанием радиоактивных веществ, используемых в технологии выплавки стали, приводит к существенному снижению возможности экспорта радиационно загрязненного проката [1].

Основными радионуклидами, которые в той или иной степени могут влиять на радиоактивность производимого металла, являются Co_{60} , Cs_{137} , Ra_{226} , Th_{232} , K_{40} . Такие элементы как Ra_{226} , Th_{232} , K_{40} являются естественными радионуклидами и, как правило, радиационная активность этих элементов находится в соответствии с нормами. Наибольшую опасность представляют техногенные радионуклиды Co_{60} и Cs_{137} .

Предотвращение радиационных аварий в металлургии возможно за счет внедрения современных технологий радиационного мониторинга основных металлургических производств. К настоящему времени в Украине и за рубежом мониторинг металлолома и всего сырья в целом осуществляется на всех металлургических предприятиях.

Состояние вопроса. Законодательная база проведения радиационного контроля металлопродукции включает Закон Украины «О металлоломе», «Требования

государственных санитарно-экологических правил и норм по радиационной безопасности при проведении операций с металлоломом» (ДСЕПН 6.6.1.-079/211.3.9 001-02), «Нормы радиационной безопасности Украины» (НРБУ-97) и «Государственные строительные нормы. Системы нормы и правила снижения уровня ионизирующих излучений в строительстве» (ДБН-97). Радиационный контроль металлопродукции [2] включает в себя:

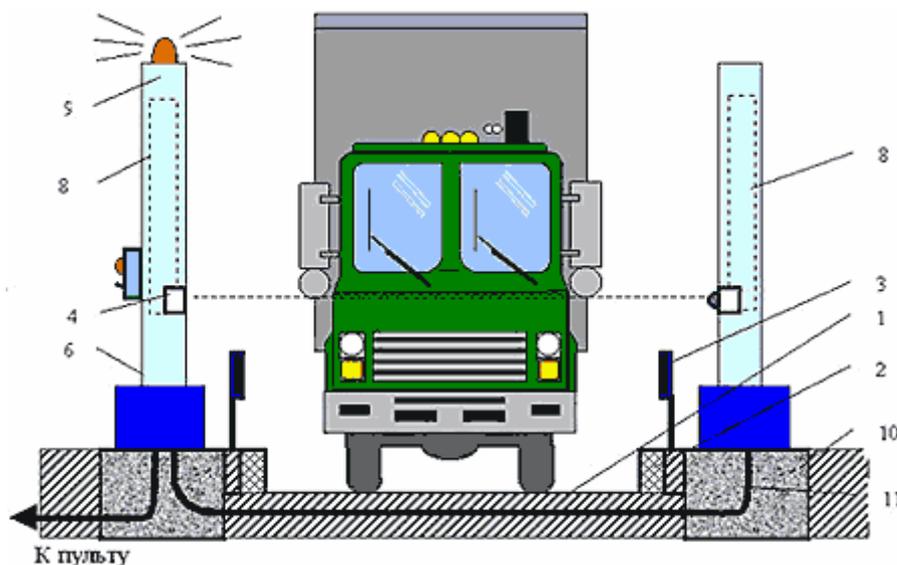
- измерение мощности дозы ионизирующего излучения входного металлолома и готовой продукции с помощью радиометров-дозиметров;
- определение удельной активности естественных радионуклидов радия-226, тория-232, калия-40, а также эффективной суммарной удельной активности $A_{эф}$ в указанных выше видах металлопродукции;
- измерение фонового излучения в контрольных точках на территории предприятия с помощью радиометра-дозиметра.

На металлургических предприятиях Украины для проведения входного радиационного контроля металлолома применяются радиометры нейтронного и гамма-излучений (например, типа «Кордон»), а для определения удельной активности – радиометры удельной активности стальных проб («РУГ-2001»). В соответствии с законодательством Украины, радиационному контролю подвергаются как исходное сырье и материалы (металлолом, известняк, чугун и др.), так и производимая продукция (металлопрокат, доменный шлак, железосодержащая и шламоколошниковая пыль). Радиационный контроль выпускаемой металлопродукции осуществляется заводскими службами по радиационной безопасности под постоянным надзором органов регулирования радиационной и ядерной безопасности Украины с использованием поверенных современных средств радиационного контроля типов РУГ-2001 и РКС-02 «Кордон».

Радиометр нейтронного и гамма-излучений РКС-02 «Кордон» предназначен для обнаружения радиоактивных материалов естественного и искусственного происхождения при непрерывном дистанционном контроле автомобильного и железнодорожного транспорта, а также пешеходов, пассажиров и ручной клади.

Радиометр представляет собой стационарное устройство, состоящее из блоков детектирования и измерения (со встроенным блоком питания). Блоки детектирования преобразуют суммарный поток нейтронного и гамма-излучения в последовательность импульсов на выходе. Используется чувствительный к гамма- и нейтронному излучению сцинтиллятор. Скорость счета выходной последовательности импульсов пропорциональна плотности суммарного потока гамма-квантов и нейтронов в месте расположения блока детектирования.

Типовое расположение радиометра на примере модификации для автомобильного транспорта представлено на рис. 1.



- 1 - дорога; 2 - бордюр; 3 - защитные конструкции стоек; 4 - датчик наличия объекта;
 5 - инфракрасный излучатель/приемник; 6 - стойка базовая; 7- стойка дополнительная;
 8 - блок детектирования; 9 - световой сигнализатор; 10 - бетонный фундамент;
 11 - кабель в защитной трубе

Рисунок 1 – Схема типового расположения радиометра РКС-02 «Кордон» на примере модификации для автомобильного транспорта

Радиометр «РУГ-2001» предназначен для определения удельной активности естественных радионуклидов Th_{232} , Ra_{226} , K_{40} и техногенных радионуклидов Cs_{137} , Co_{60} . В условиях предприятия ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь» прибор применяют в лабораториях радиологического контроля для оперативного определения удельной активности проб стали. В основу работы радиометра положен гамма-спектрометрический метод определения содержания радионуклидов, основанный на измерениях распределения амплитуд импульсов от исследуемых радионуклидов в фиксируемых энергетических интервалах. Метод не требует специальной пробоподготовки.

Радиометр представляет собой стационарное устройство, состоящее из следующих основных узлов:

- радиометрический узел со свинцовой защитой (толщина в зоне измерения 10 см) от влияния окружающего фона на процесс измерения;
- блок детектирования на основе $NaI(Tl)$ с внутренним колодцем;
- блок преобразователя амплитуд;
- устройство сбора и обработки информации на базе персонального компьютера;
- комплект образцовых объемных мер активности специального назначения для проверки технического состояния радиометра (градуировки) и поверки.

Максимальное расстояние между устройством сбора и обработки информации и блоком детектирования до 10 м.

Блок детектирования преобразует поток энергий гамма-излучения в последовательность импульсов соответствующих амплитуд. В торце блока детектирования расположен колодец для размещения анализируемой пробы. Количество блоков детектирования, одновременно подключаемых к устройству сбора и обработки информации – до четырех.

Блок преобразователя преобразует амплитуды импульсов от блока детектирования в цифровые коды и передает их на персональный компьютер. Блок преобразователя имеет два независимых канала обработки информации. К нему одновременно может быть подключено два блока детектирования. Основные узлы радиометра РУГ-2001 представлены на рис. 2.



Рисунок 2 – Основные узлы радиометра удельной активности стальных проб «РУГ-2001»

Программное обеспечение (под «Windows 98»):

- пользовательский интерфейс, включающий пакеты управления технологией измерения в автоматическом и диалоговом режимах, пакеты введения базы данных, проведения калибровки, поверки и представления информации;
- возможность получения и обработки информации одновременно из четырех радиометрических узлов;
- управление режимом измерения и автоматической калибровки;
- возможность документирования результатов анализа в виде протоколов выбранной формы.

Пример интерфейса программной обработки результатов измерений представлен на рис. 3.

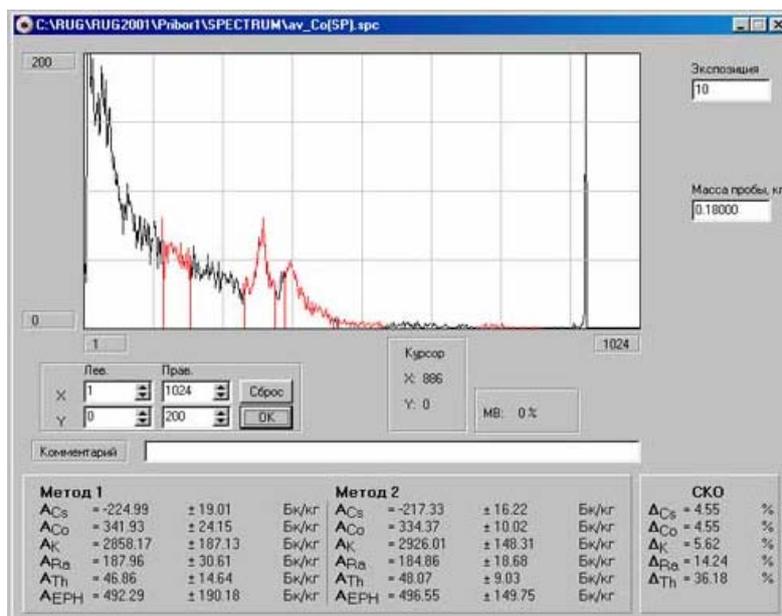


Рисунок 3 – Пример работы программы обработки результатов измерений

Основная часть исследований. В настоящей работе исследованы образцы металла, выплавленного в мартеновском цехе и используемого для производства всех видов металлопроката ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь».

С использованием возможностей среды «Statistica 6» произведен расчет 37 различных плавок на наличие изотопов Co_{60} , Cs_{137} , Ra_{226} , Th_{232} , K_{40} [3].

Полученные экспериментальные результаты использованы для построения гистограмм, которые описаны стандартными функциями плотности распределения вероятности. Полученные зависимости приведены на рис. 4.

Эффективная удельная активности природных радионуклидов определяется по формуле:

$$A_{эф} = A_{Ra} + 1,31A_{Th} + 0,085A_K . \quad (1)$$

Все модели распределения описываются функцией экстремального распределения:

$$f(x) = \frac{1}{b} \cdot \exp\left[-\frac{x-a}{b}\right] \cdot \exp\left[\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right], \quad (2)$$

где $-\infty < x < +\infty$; ; a – параметр положения; b – параметр масштаба, $b > 0$.

Полученные результаты были систематизированы в программе «MathCAD» (рис. 5). Интегрирование установленных распределений с использованием стандартного подхода [4,5] позволило определить средневзвешенное значение радиоактивности по каждому изотопу.

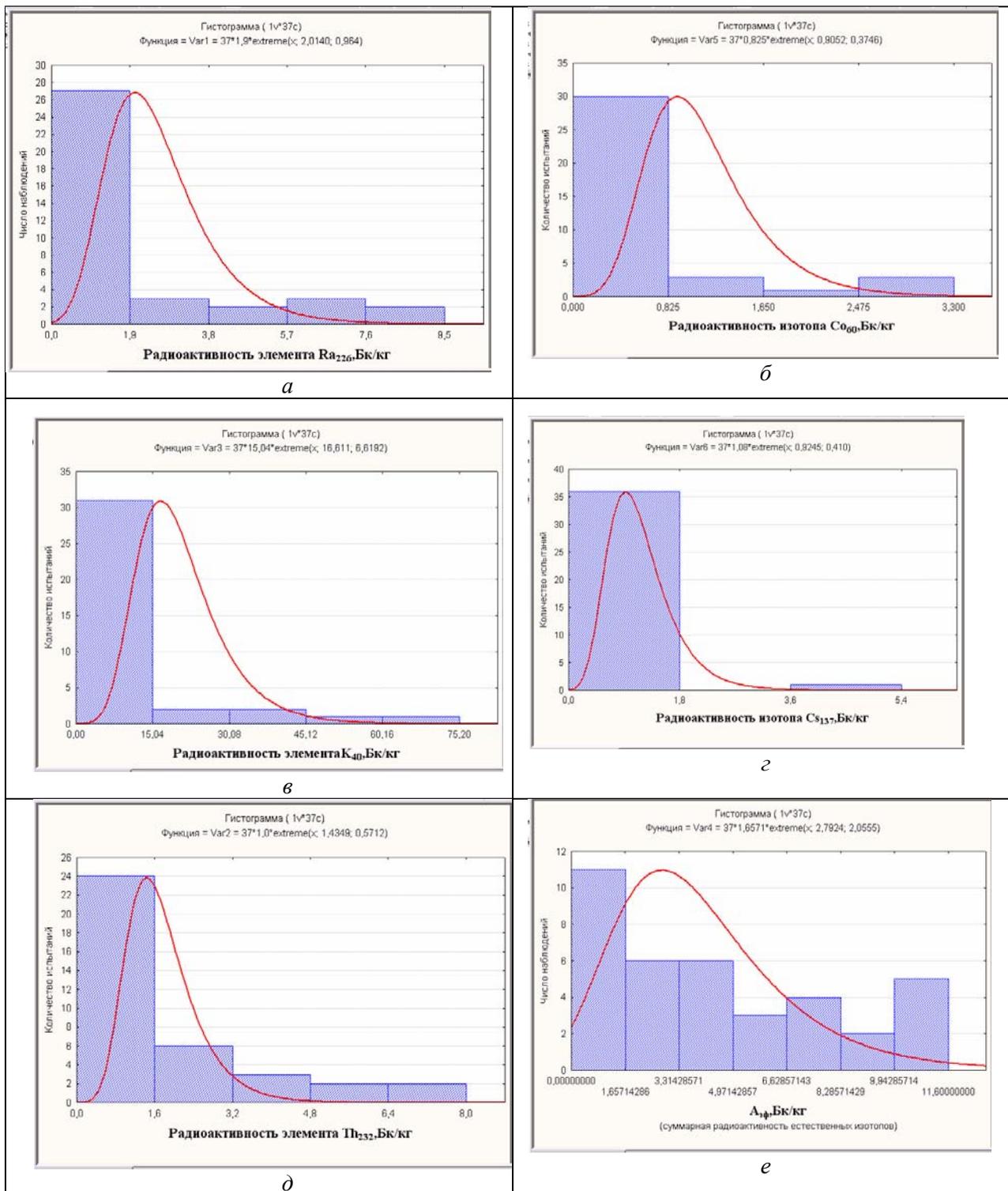
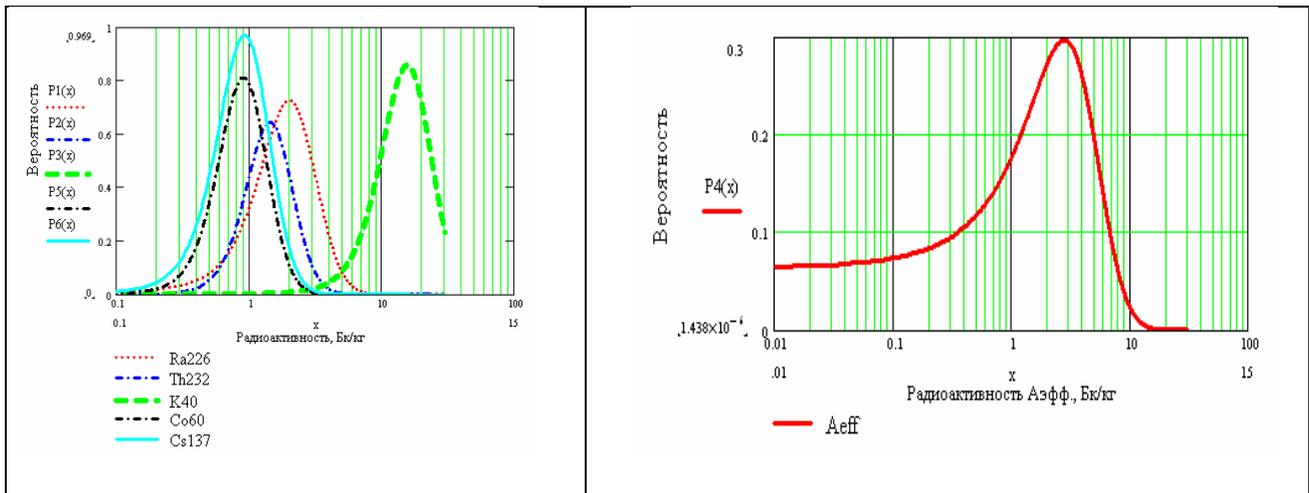


Рисунок 4 – Плотности распределения вероятностей загрязнения металлопродукции радиоактивными изотопами Ra_{226} , Th_{232} , K_{40} , Co_{60} , Cs_{137} (а-д) и суммарная эффективная радиоактивность естественных изотопов (е)



$P_1(x)$ - вероятность распределения по изотопу Ra_{226} ; $P_2(x)$ - вероятность распределения по изотопу Th_{232} ; $P_3(x)$ - вероятность распределения по изотопу K_{40} ; $P_4(x)$ – вероятность распределения $A_{эф}$ (эффективная удельная активность природных радионуклидов); $P_5(x)$, $P_6(x)$ - вероятность распределения по изотопам Co_{60} и Cs_{137}

Рисунок 5 – Вероятности распределения радиоактивности изотопов в образцах металла, выплавленного в мартеновском цехе

Сравнение результатов проведенных расчетов с данными нормативно-технических документов («Нормы радиационной безопасности Украины» НРБУ-97 п.8.6.1, «Система норм и правил снижения уровня ионизирующих излучений естественных радионуклидов в строительстве» ДБН В.1.4-1.01-97 п.5) приведено в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты анализа радиационного загрязнения образцов металла после мартеновской плавки в сравнении с данными нормативно-технических документов

Номера п/п	Тип загрязнения	Средневзвешенное значение, Бк/кг	Допустимое значение, Бк/кг
1	Ra_{226}	2,524	370
2	Th_{232}	1,765	370
3	K_{40}	19,323	370
4	Cs_{137}	1,161	370
5	Co_{60}	1,120	370
6	$A_{эф}$	3,983	370

Заключение. Результаты проведенных экспериментов и выполнение необходимых расчетов в соответствии с программой «MathCAD» показали, что металл, выплавленный в мартеновском цехе ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь», практически не загрязнен естественными и техногенными радионуклидами (Co_{60} , Cs_{137} , Ra_{226} , Th_{232} , K_{40}). Проконтролированные партии металла относятся к первому классу применения по радиационному фактору («Нормы радиационной безопасности Украины» НРБУ-97 п.8.6.1, «Система норм и правил снижения уровня ионизирующих излучений естественных радионуклидов в строительстве» ДБН В.1.4-1.01-97 п.5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы сайта Министерства иностранных дел Украины <http://www.mfa.gov.ua/>
2. Материалы сайта <http://www.positron.dp.ua/>
3. *Куприенко Н. В.* Статистика. Методы анализа распределений. Выборочное наблюдение: [учебное пособие] 3-е изд. / Н. В. Куприенко, О. А. Пономарева, Д. В. Тихонов: – СПб.: Изд-во политехнического университета, 2009. – 138 с.
4. Решение экономических задач на компьютере / *А. В. Каплан*, А. Е. Каплан, М. В. Мащенко, Е. В. Овечкина. – СПб.: Издательство ДМК ПРЕС Питер, 2004. – 600 с.
5. *Хамханова Д. Н.* Общая теория измерений: [учебное пособие] / Д. Н. Хамханова. – Улан-Удэ: Издательство ВСГТУ, 2006. – 68 с.

Стаття надійшла до редакції 18.06.2010 р.

Рецензент, проф. В.М. Михайлін