

В. И. Богорад, Г. В. Громов,
Т. В. Литвинская, А. В. Носовский,
Е. Е. Трофимова¹, Р. Р. Чанышев²

¹Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности

²Государственное специализированное предприятие «Чернобыльская АЭС»

Методические рекомендации по проведению радиационного контроля металлолома при снятии с эксплуатации энергоблоков АЭС

Рассмотрены проблемы радиационного контроля металлолома, образующегося при снятии с эксплуатации энергоблоков АЭС. Приведены основные методические рекомендации по проведению радиационного контроля загрязнения металлолома, вывозимого с площадки АЭС, разработанные в соответствии с требованиями санитарно-экологических правил и норм по радиационной безопасности. За основу методики принят анализ загрязненности оборудования Чернобыльской АЭС, выполненный на основании имеющихся данных по комплексному инженерному радиационному обследованию энергоблоков.

В. И. Богорад, Г. В. Громов, Т. В. Литвинська, А. В. Носовський, О. Є. Трофімова, Р. Р. Чанишев

Методичні рекомендації з проведення радіаційного контролю металобрухту при знятті з експлуатації енергоблоків АЕС

Розглянуто проблеми радіаційного контролю металобрухту, що утворюється під час зняття з експлуатації енергоблоків АЕС. Наведено основні методичні рекомендації щодо проведення радіаційного контролю забруднення металобрухту, який вивозиться з майданчика АЕС, розроблені відповідно до вимог санітарно-екологічних правил та норм з радіаційної безпеки. За основу методики взято аналіз забруднення обладнання Чернобыльської АЕС, виконаний на підставі наявних даних з комплексного інженерного радіаційного обстеження енергоблоків.

В настоящее время в Украине ведутся практические работы по снятию с эксплуатации ядерных установок. Первой АЭС, снимаемой с эксплуатации в Украине, является Чернобыльская, последний энергоблок которой был остановлен в 2000 г. В период с 2011 по 2026 г. истекает установленный проектный срок эксплуатации и других АЭС Украины, поэтому проблема снятия с эксплуатации объектов атомной энергетики становится актуальной [1], [2]. В процессе проведения работ по снятию с эксплуатации образуется большое количество металлических отходов, которые при должном радиационном контроле можно использовать повторно.

Определение объема и методов радиационного контроля металлолома, по сути, непростая задача. Цель такого контроля состоит в получении такой информации об уровнях радиоактивного загрязнения оборудования, снимаемого с эксплуатации на энергоблоке АЭС, которая обеспечивала бы полноту контроля, в том числе и полноту контроля за непревышением контрольных или допустимых уровней загрязнения [3]. Под полнотой радиационного контроля понимается достаточность информации для того, чтобы с заданной точностью определить степень радиационной чистоты этого оборудования. Сама процедура выбора контролируемых параметров и их нормирования является определяющей при составлении регламента радиационного контроля.

На практике выбор измеряемых параметров определяется видами и объектами контроля. К объектам контроля в данном случае относятся поверхности оборудования, деталей, трубопроводов и т. п. Виды контроля характеризуются, как правило, непосредственно измеряемыми физическими характеристиками ионизирующего излучения, такими как мощность дозы γ -излучения, плотность потоков β - и α -частиц.

Цель статьи — разработка методических рекомендаций по проведению радиационного контроля металлолома, вывозимого с площадки АЭС для промышленного использования, которые могут применяться в программах радиационного контроля энергоблоков АЭС, снимаемых с эксплуатации. Такие методические указания (методика) должны быть разработаны в соответствии с требованиями санитарно-экологических правил и норм по радиационной безопасности при проведении операций с металлоломом в целях проверки радиоактивного загрязнения металлолома и выявления локальных источников ионизирующего излучения или радиоактивного загрязнения. Методика устанавливает общий порядок организации и проведения радиационного контроля вывезенного на специализированную площадку металлолома после проведения комплексного инженерного радиационного обследования (КИРО). Методика предназначена для использования службой радиационной безопасности АЭС при радиологическом обследовании металлических элементов, образовавшихся при демонтаже оборудования на этапе снятия с эксплуатации.

Действие методики должно распространяться на деятельность по проведению измерений от момента демонтажа до погрузки в железнодорожные вагоны или автотранспортные средства для отправки с площадки АЭС. Под термином «металлолом» в данной статье понимается лом цветных и черных металлов, образовавшийся при демонтаже оборудования, изделия или их частей, содержащих цветные или черные металлы. Локальный источник — отдельный фрагмент металлолома, вблизи поверхности которого (на расстоянии не более 10 см) значение мощности дозы

γ -излучения содержащихся в нем радионуклидов (за вычетом вклада природного фона) превышает 0,43 мкГр/ч. Партия металлолома — отдельно расположенное на специально оборудованной площадке, перебранное, разрезанное (или спрессованное) количество металлолома, подготовленное и складированное в штабеля для загрузки на транспортные средства.

Общие положения

При демонтаже оборудования на этапе снятия энергоблока АЭС с эксплуатации часть элементов оборудования и металлоконструкций с низкими уровнями радиоактивного загрязнения может передаваться на повторное использование. Для исключения возможности заготовки и реализации металлолома, имеющего радиоактивное загрязнение или содержащего локальные источники, проводится радиационный контроль металлолома, подготовленного для реализации, по результатам которого оформляется либо санитарно-эпидемиологический паспорт, либо заменяющий его документ.

Радиационный контроль металлолома, подготовленного к вывозу за пределы АЭС, проводится персоналом службы радиационной безопасности на специально подготовленной площадке с уровнем γ -фона, не превышающем 0,26 мкГр/ч. Измерение проводится на высоте 1,0 м от поверхности площадки. Нефиксированное радиоактивное

загрязнение любой поверхности металлолома, перевозимого на площадку измерений, не допускается.

Радиационный контроль оборудования, его частей или фрагментов, предполагаемых к вывозу за пределы АЭС, проводится измерением мощности дозы на расстоянии 10 см от свободной поверхности металла, а также измерением поверхностного α - и β -загрязнения металла непосредственно в местах демонтажа или первоначального складирования. Поверхностное α - и β -загрязнение металла измеряется на расстоянии не более 2–3 см от поверхности при определении β -активности и непосредственно у самой поверхности (1 мм от поверхности) при определении α -активности. При этом общее число измерений по каждому виду контроля должно быть не меньше двух.

К радиологическому обследованию на возможность вывоза металлолома за пределы АЭС допускаются металлические изделия или их части, имеющие поверхности открытого доступа для возможности измерения потока α - и β -излучения и взятия мазков для проверки на снимаемое загрязнение. Если металлическое изделие или фрагмент представляет из себя трубу или короб, необходимо провести весь комплекс радиационного обследования внутренних и внешних поверхностей в торцах изделия. На каждые 400 см² поверхности должно проводиться не менее одного измерения.

Партия металлолома, прибывшая на площадку измерения, в качестве сопровождающих документов должна иметь номенклатуру изделий со ссылкой на результаты предва-

Таблица 1. Критерии принятия решений по обращению с радиоактивно-загрязненным металлоломом

Класс использования	Условия использования	Уровни действий		
		МПД, мкГр/год	ПП β -частиц, част./(мин · см ²)	Наличие нефиксированного загрязнения
1	Использование без ограничений	< 0,26	< 30	Нет
2	Свободное использование в Украине	< 0,43	< 100	Нет
3	Использованию не подлежит	≥ 0,43	≥ 100	Есть

рительных измерений после демонтажа или первоначального складирования после дезактивации. На площадку измерения не допускаются изделия, уровни загрязнения которых выше 0,43 мкГр/ч по мощности поглощенной дозы или 100 β -частиц/(см² · мин).

Площадка измерения не может быть заполнена до отправки предыдущей партии металлолома или должна иметь достаточный запас по площади для размещения новой партии с учетом того, что предыдущая партия может быть возвращена на площадку измерения. Транспортировка оборудования или его элементов к площадке измерений или местам загрузки на транспортные средства осуществляется в соответствии с требованиями ПБПРМ — 2006 [4]. Все используемые для проведения радиационного контроля средства измерений должны иметь действующие свидетельства о государственной поверке.

Методика распространяется на следующие виды оборудования, предполагаемые к вывозу за пределы площадки в качестве металлолома: тепломеханическое оборудование, электротехническое оборудование, контрольно-измерительные приборы, строительные конструкции и элементы, выполненные из металла.

В соответствии с ДСЕПiН 6.6.1.-079/211.3.9001-02 [5], ограничение использования металлолома в промышленности по критерию радиоактивного загрязнения регламентируется уровнями мощности поглощенной дозы (МПД) и плотностью потока (ПП) β -излучения, численные значения которых приведены в табл. 1.

Методология проведения измерений

Измерение радиоактивного загрязнения металлолома проводится с целью обнаружения:

локальных источников, которые могут представлять отдельные фрагменты оборудования, строительных конструкций, арматуры или утерянные промышленные источники, а также материалы, имеющие радиоактивное загрязнение; элементов оборудования, входящего в состав металлолома, имеющих повышенный уровень радиоактивности в результате промышленной эксплуатации.

Радиационный контроль партии металлолома проводится в три этапа (рис. 1). Первый этап, включающий в себя комплексное инженерное радиационное обследование (КИРО),

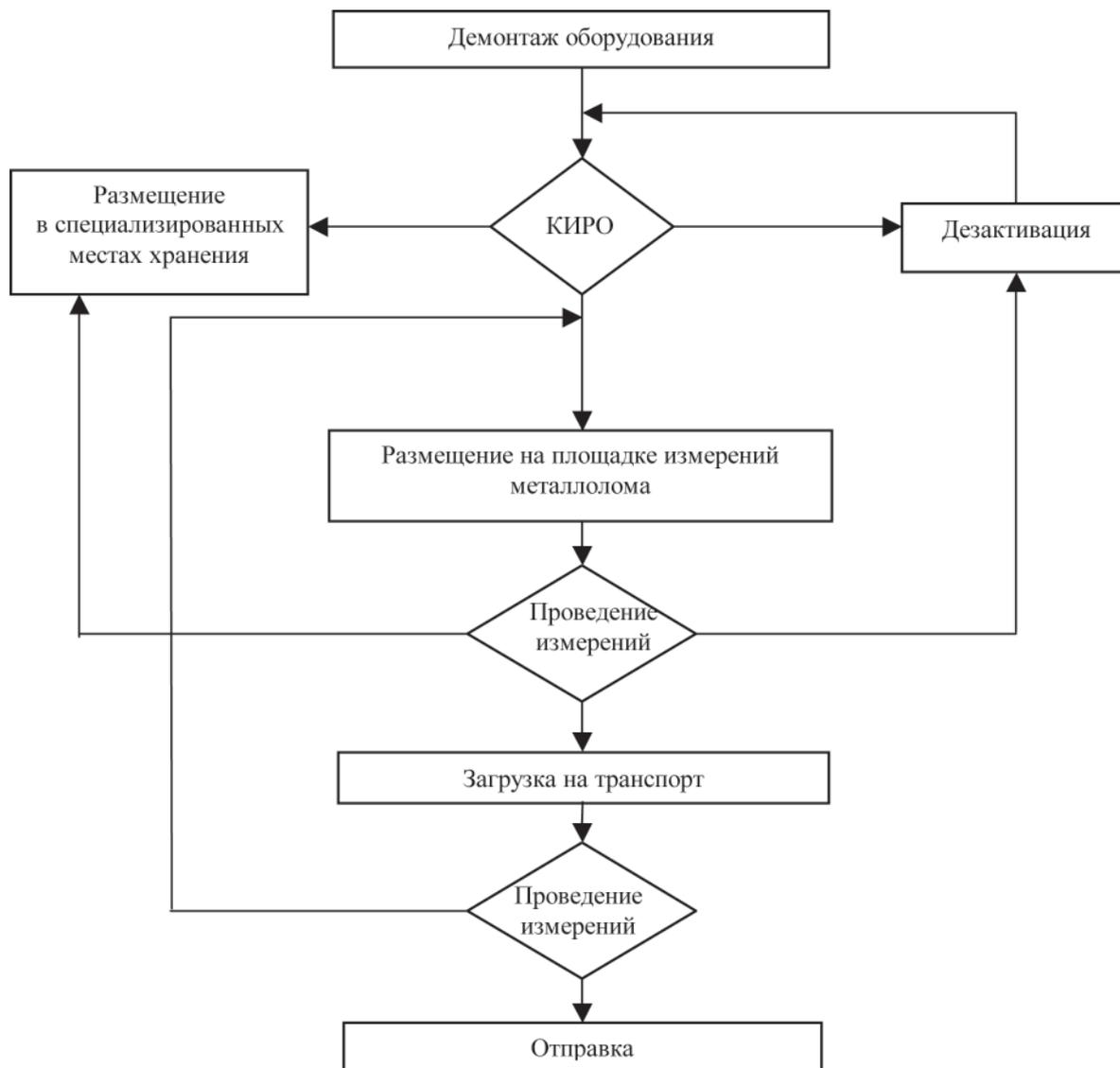


Рис. 1. Схема проведения деятельности по отправке металлолома, образующегося при демонтаже оборудования на этапе снятия АЭС с эксплуатации

осуществляется непосредственно после демонтажа или в местах первоначального складирования оборудования после дезактивации; второй этап — в специально отведенных местах с уровнем фона, не превышающим $0,2 \text{ мкЗв/ч}$; третий этап — непосредственно после загрузки металлолома в специализированные транспортные средства.

Измерение радиационного состояния (мощность дозы от поверхности металлолома, суммарная β -активность) проводится в соответствии с имеющейся на АЭС инструкцией по контролю за уровнем загрязнения радионуклидами рабочих поверхностей, оборудования, помещений.

Первый этап исследований начинается с проведения комплексного инженерного радиационного обследования оборудования, предполагаемого к вывозу в качестве металлолома. Каждый элемент оборудования или его фрагмент, подлежащий КИРО, должен иметь идентификатор (шифр), отражающий тип и наименование оборудования, к которому он относится, а также место установки оборудования во время эксплуатации. Номер наносится на видимую поверхность детали водостойким красителем.

До начала исследований измеряют уровень γ -фона в месте проведения радиационного контроля на расстоянии

$1\text{--}2 \text{ м}$ от объекта исследований. Число замеров должно составлять не менее 5, обеспечивать статистическую погрешность результата измерений $5\text{--}10 \%$; замеры следует проводить по равномерной сетке. В случае отсутствия возможности измерения уровня фона с необходимой точностью, место проведения радиационного контроля нужно изменить. Результаты замеров, а также среднее значение γ -фона, среднеквадратическое отклонение и относительную погрешность для 95% доверительного интервала заносят в протокол радиационного контроля.

Радиационное состояние исследуется измерениями мощности эквивалентной дозы и общей α - и β -загрязненности из расчета одно измерение на $0,04 \text{ м}^2$, но не менее двух измерений на каждую единицу оборудования.

При проведении обследования радиационного состояния внутренних поверхностей должны быть проведены не менее двух измерений α - и β -загрязненности методом снятия мазка, по возможности, в местах наиболее вероятного контакта с радиоактивной средой.

Радионуклидный состав снимаемого загрязнения определяется снятием мазка во всех случаях, когда отсутствует возможность непосредственного измерения плотности потока

α - и β -частиц, или в случае, если общая β -загрязненность превышает 100 β -част./($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$). Дополнительно к указанному объему должны быть повторно обследованы все места со значениями параметров радиационного состояния, более чем в 2 раза превышающими средние значения для данного объекта контроля.

Если количество однотипных элементов в группе N_1 больше 5, допустимо ограничиться количеством образцов $N \leq N_1$.

Значение N определяется так. Произвольно выбирается начальная численность выборочной совокупности элементов n_1 таким образом, чтобы n_1 было больше или равно 5. Стандартным образом определяются фоновые показатели — среднее значение \bar{x}_α и среднеквадратическое отклонение σ_Φ . Проводятся измерения интересующих радиационных параметров x_i , $i = 1, \dots, n_1$. Рассчитывается выборочное среднее и выборочная дисперсия для выбранных n_1 элементов:

$$\bar{x}_{n_1} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} x_i}{n_1}, \quad \sigma_{n_1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_1} (\bar{x}_{n_1} - x_i)^2}{n_1 - 1} + \sigma_\Phi^2}.$$

Средняя ошибка выборочного среднего

$$\mu(\bar{x}_{n_1}) = \sqrt{\frac{\sigma_{n_1}^2}{n_1} \cdot \left(1 - \frac{n_1}{N_1}\right)}.$$

Показатель надежности вывода τ о непревышении контролируемой величины своего допустимого уровня $\Delta(x)$ определяется по формуле

$$\tau = \frac{\Delta(x)}{\mu(\bar{x}_{n_1})}.$$

В табл. 2 приведены значения τ , которые определяют критерий для надежности вывода о соответствии радиационного состояния металлолома требованиям [5].

В случае, если τ не удовлетворяет одному из неравенств табл. 2, следует увеличить количество элементов в выборке и провести дополнительные измерения. Если количество элементов в группе меньше 5, следует провести радиационное обследование всех элементов группы.

Для трубопроводов и кабельной продукции параметры радиационного состояния (мощность дозы от поверхности металлолома, суммарная β -активность) измеряются методом сканирования с фиксацией одного максимального измерения на 0,2 п. м. Снимаемая α - и β -загрязненность измеряется на внутренних поверхностях трубопроводов в начале и в конце фрагментов, а также во всех местах, где общая β -загрязненность превышает 100 β -част./($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$),

однако производится не менее двух измерений на 1 п. м. Трубопроводы с изгибами, не позволяющими отбор проб на снимаемое загрязнение методом мазка, должны быть предварительно разрезаны на фрагменты, позволяющие отбор проб на снимаемое загрязнение методом мазка.

Для вентиляционного оборудования параметры радиационного состояния (мощность дозы, общая загрязненность) измеряются методом сканирования с фиксацией одного измерения на $0,2 \times 0,2$ кв. м. Снимаемая α - и β -загрязненность измеряется на внутренних поверхностях воздуховодов в начале и в конце фрагментов, а также во всех местах, где общая β -загрязненность превышает 100 β -част./($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$), однако производится не менее двух измерений на 1 п. м. Все измерения оформляются в виде протокола.

Второй этап контроля проводится на специализированной площадке измерений. Партия металлолома, прибывшая на площадку измерения, в качестве сопровождающих документов должна иметь протокол КИРО. На площадку измерения не допускаются изделия, уровни загрязнения которых выше 0,43 мкГр/ч по МЭД или 100 β -част./($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$), а также имеющие снимаемое загрязнение.

Для проведения исследований партия металлолома должна быть разложена на площадке рядами в один слой. Расстояние между рядами должно обеспечивать свободное передвижение вдоль рядов. До начала измерений должна быть составлена и занесена в протокол масштабная схема слоя обследуемого металлолома с нанесенными на нее маршрутными линиями, вдоль которых будет проводиться измерения. До начала измерений партии металлолома измеряют значение фоновых показателей (не менее 5) на свободной от лома территории в местах, предназначенных для размещения металлолома, и на расстоянии не ближе, чем 15–20 м от партии. Результаты замеров, а также среднее значение фона и среднеквадратическую погрешность его определения заносят в протокол радиационного контроля.

Измерения проводят последовательно, каждые 0,2 м, перемещая датчик прибора вдоль каждой из намеченных маршрутных линий со скоростью не более 0,2 м/с, удерживая его на расстоянии около 10 см над поверхностью контролируемого слоя металлолома. Если измерения не выявили точек, в которых показания радиометра превышают контрольный уровень, считают, что партия металлолома не содержит локальных источников. При этом данные измерений заносятся в протокол лабораторных исследований с указанием минимальных и максимальных значений.

Если показания дозиметра или радиометра не превышают величину допустимого уровня, проводятся выборочные измерения β -загрязненности в отдельных точках, вы-

Таблица 2. Значения критерия для надежности вывода о соответствии радиационного состояния металлолома требованиям НД

По мощности дозы			
$\Delta(x) \leq 1$ мкГр/ч	$1 \text{ мкГр/ч} < \Delta(x) < 10 \text{ мкГр/ч}$		$\Delta(x) \geq 10$ мкГр/ч
$\tau \geq 1,65$	$\tau \geq 2$		$\tau \geq 2,6$
По поверхностному загрязнению			
$\Delta(x) < 10^2 \beta$ -част./($\text{с} \cdot \text{см}^2$)	$10^2 \beta$ -част./($\text{с} \cdot \text{см}^2$) $\leq \Delta(x)$ $\Delta(x) \leq 10^3 \beta$ -част./($\text{с} \cdot \text{см}^2$)	$10^3 \beta$ -част./($\text{с} \cdot \text{см}^2$) $< \Delta(x)$ $\Delta(x) < 10^4 \beta$ -част./($\text{с} \cdot \text{см}^2$)	$\Delta(x) \geq 10^4 \beta$ -част./($\text{с} \cdot \text{см}^2$)
$\tau \geq 1,2$	$\tau \geq 1,5$	$\tau \geq 2$	$\tau \geq 2,6$

бренных вдоль слоя через равные промежутки. Количество точек измерения не должно быть меньше 5.

При показаниях радиометра, превышающих 0,43 мкГр/ч, прервав перемещение по маршрутной линии, тщательно обследуют прилегающую часть слоя на наличие локальных источников. При этом, сканируя близлежащую окрестность слоя и используя пустоты в слое металлолома, пытаются максимально приблизить детектор прибора к предполагаемому месту расположения локального источника, ориентируясь на возрастание частоты следования звуковых сигналов или показания индикатора. Выделяют зону превышения допустимого уровня на поверхности слоя и наносят ее на масштабную схему. По максимальной частоте следования звуковых сигналов определяют и маркируют точку максимума, наносят ее на масштабную схему и заносят в протокол измерений показания прибора в этой точке. После завершения данной процедуры продолжают поиск локальных источников вдоль маршрутных линий.

При обнаружении локального источника дополнительно проводятся измерения в точке максимума мощности дозы γ -излучения (исследуют плотность потоков α - и β -частиц). По результатам контроля составляют акт, к которому прикладывают масштабную схему партии металлолома с нанесенными на нее зонами превышения контрольного уровня и точками максимумов, а также протокол измерений, содержащий результаты измерений в точках максимума.

Если источником излучения оказался фрагмент оборудования, данный фрагмент изымается из партии и передается на специально подготовленное место повторного складирования для проведения повторной деактивации.

При обнаружении в составе партии металлолома радиоактивных промышленных источников их идентификация, изъятие и последующее обращение с ними (хранение, транспортировка, захоронение и т. д.) должны проводиться специализированной организацией или подготовленными специалистами, отнесенными к персоналу категории А, в соответствии с действующим законодательством.

Третий этап радиационного контроля проводится на загруженном транспортном средстве. Транспортное средство помещают на контрольную площадку, для чего выделяют одну или несколько специальных контрольных площадок (зон), на которых производится радиационный контроль всего отправляемого металлолома после погрузки его в транспортное средство. При этом площадка (зоны) должна иметь минимальный природный фон (не более 0,2 мкЗв/ч). На боковую поверхность транспортного средства должны быть нанесены и пронумерованы водостойкой краской контрольные точки из расчета одна точка на 0,25 м² поверхности.

Измерения мощности дозы открытых наружных поверхностей транспортного средства проводятся в контрольных точках, расположенных по прямоугольной сетке на расстояниях не менее 0,5 м одна от другой. Данные измерений заносятся в протокол.

После загрузки проводят контроль мощности дозы вдоль наружных поверхностей транспортного средства по периметру. Детектор ведется вдоль линий, которые параллельны поверхности земли (низ, середина и верхняя часть транспортного средства, по возможности на поверхности металлолома), с шагом контроля не менее 0,5 м. Датчик радиометра перемещают вдоль каждой линии на расстоянии не более 10 см от обследуемой поверхности транспорта со скоростью не более 0,2 м/с, фиксируя в контрольных точках и контролируя показания радиометра. Значения мощности дозы в контрольных точках заносятся в протокол радиационного контроля, в котором указывают:

лом черных (цветных) металлов, количество тонн, номер транспортного средства, фирму-отправитель, фирму-грузополучатель;

средство измерения, свидетельство о поверке;

аттестат аккредитации лаборатории радиационного контроля, ФИО проводившего измерения;

результаты измерений фона и значения мощности дозы в контрольных точках транспортного средства.

При обнаружении точки, в которой показания радиометра превышают фоновый уровень на величину среднеквадратической погрешности измерения, проводят более детальное обследование вблизи нее (по горизонтали и вертикали) для оконтуривания на стенке транспортного средства зоны с максимальным показанием радиометра. Такое детальное исследование проводят со всех сторон транспортного средства для определения проекции локального источника. По результатам контроля в этом случае оформляют протокол измерений, к которому прикладывают масштабную схему обнаруженных зон превышения контрольных уровней и таблицу результатов измерений в точках максимума. В этом случае транспортное средство должно быть разгружено в окрестности данной точки, металлолом отправлен на площадку измерения для повторного исследования. После отгрузки из вагона части партии металлолома, имеющей повышенный уровень радиоактивного загрязнения, проводят повторное обследование транспортного средства.

Выводы

Наличие методического руководства по переводу выведенного из эксплуатации оборудования в категорию металлолома дает принципиальную возможность, с одной стороны, оптимизировать количество РАО, тем самым разгружая хранилища радиоактивных отходов, а с другой стороны — возможность возврата в хозяйственный оборот как дорогостоящего металла (цветного и черного), так и оборудования, пригодного к вторичному использованию.

Как видно из методики, процесс измерений носит достаточно сложный характер, предполагающий цикличность, что позволит существенно повысить его эффективность и надежность. Методика контроля может иметь развитие в направлении более детального категорирования оборудования, выведенного из эксплуатации, с точки зрения возможности ограниченного использования в пределах зоны отчуждения, однако это может быть сопряжено с разработкой целого ряда регулирующих требований.

Литература

1. Носовский А. В. Закрытие Чернобыльской АЭС и перспективы развития атомной энергетической отрасли Украины // Проблемы Чернобыля. — 2001. — Вып. 7. — С. 6 — 22.
2. Носовский А. В. Некоторые актуальные вопросы управления сроком службы атомных электрических станций // Проблемы Чернобыля. — 2002. — Вып. 11. — С. 132 — 141.
3. Богорад В. И., Коротенко В. М., Носовский А. В., Сленченко А. Ю. Радиационный контроль энергоблока на этапе снятия с эксплуатации // Проблемы безопасности атомных электростанций та Чернобыля. — 2007. — Вып. 8. — С. 34 — 43.
4. Правила ядерной и радиационной безопасности при перевозке радиоактивных материалов ПБПРМ — 2006 (НП 306.6.124-2006).
5. Санитарно-экологические правила и нормы по радиационной безопасности при проведении операций с металлоломом (ДСЕПН 6. 6.1.- 079 /211.3.9 001-02).