

60 МэВ рекомендуется использовать для бетона данные для моноэнергетического источника с эффективной энергией 15 МэВ.

Для свинцовой защиты не важно, какую принимать эффективную энергию моноисточника при максимальной энергии тормозного излучения выше 30 МэВ. Погрешность не превышает 10%, что объясняется слабой зависимостью кратности ослабления дозы фотонов в свинце от энергии источника выше 10 МэВ [5]. Тем не менее оптимальным остается выбор эффективной энергии согласно рекомендациям [1]. Для железа при энергии электронов 30 МэВ, когда наблюдается максимальное различие, можно рекомендовать использовать данные для моноэнергетического источника энергией 5 МэВ. Это позволяет снизить погрешность во много раз, особенно при большой толщине.

Таким образом, предложенные в работе [1] рекомендации по оценке дозы фотонного излучения в защите из железа и свинца для электронных ускорителей с энергией электронов выше 50 МэВ в определенной степени справедливы. Однако можно достичь значительного

снижения погрешностей результатов, применяя рекомендуемый в настоящей работе индивидуальный подход к выбору эффективной энергии в зависимости от энергии электронов ускорителя и используемого материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гигиенические** требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ. СанПиН 2.6.1.2573—10. — Радиационная гигиена, 2010, т. 3, вып. 2, с. 73—91.
2. **Сахаров В.К., Борисенко А.В.** Дозовый фактор накопления фотонов в бетоне, железе и свинце для моноэнергетических источников энергией 10—50 МэВ. — Атомная энергия, 2014, т. 116, вып. 3, с. 177—179.
3. **MCNP** — a General Monte Carlo N-Particle Transport Code. Version 4C. LA-13709-M, 2000.
4. **Сахаров В.К.** Спектры тормозного излучения и фото нейтронов из вольфрамовой мишени ускорителя электронов энергией 5—90 МэВ. — Атомная энергия, 2016, т. 120, вып. 4, с. 228—231.
5. **Сахаров В.К.** Кратности ослабления дозы фотонов в бетоне, железе и свинце для моноэнергетических источников с энергиями от 10 до 90 МэВ. — Ядерная физика и инжиниринг, 2016, т. 7, вып. 3, с. 268—272.

Поступила в Редакцию 20.02.17

УДК 574:539.1.04+621.039.7

РАДИАЦИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЦЕХА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД РЕАКТОРА РФТ

*Волкович А.Г., Смирский Ю.Н., Степанов А.В., Смирнов С.В., Сафронов А.М.,
Семин И.А., Степанов В.Е. (НИЦ «Курчатовский ин-т», г. Москва)*

Технический пуск экспериментального графитового реактора РФТ с водяным охлаждением мощностью 20 МВт был осуществлен в 1952 г. После 10 лет работы он был остановлен, частично демонтирован, топливо удалено [1—6]. В соседнем с ним здании расположен цех очистки сточных вод, включающий системы вентиляции и очистки технологической воды. После останова реактора верхнюю часть вентиляционной трубы демонтировали, над ее выходным отверстием установили бетонное перекрытие и крышу. Система очистки сточных вод включает в себя четыре металлические емкости-отстойники диаметром 3, высотой 5 м, которые использовали для дегазации и отстаивания ра-

диоактивной воды, поступавшей из РФТ. После отстаивания воду перекачивали в две металлические емкости — адсорбционные колонны диаметром 1,5, высотой 5 м для очистки. Воду на адсорбционную колонну подавали снизу вверх — по трубе, расположенной внутри колонны, направляя вниз, затем продавливали через слой сорбента вверх. В качестве сорбента применяли сульфуголь. Высота слоя сорбента 3 м. Дополнительно для очистки от ^{137}Cs применяли сорбент-глауконит с толщиной слоя 1 м. Для устранения больших нагрузок на нижние слои сорбента колонна была разделена по высоте на секции металлическими решетками. Емкости-отстойники по две в одном помещении

и адсорбционные колонны каждая в отдельном помещении располагались вокруг вентиляционной трубы. После останова РФТ доступ в эти помещения был забетонирован.

При недостаточной степени очистки вода из адсорбционной колонны поступала в монжусы 1 и 2, расположенные в каньоне внизу здания под вентиляционной трубой. Оттуда воду сжатым воздухом вторично подавали в адсорбционную колонну. После достижения необходимой степени очистки вода поступала в спецканализацию. Радиоактивный газ направляли в мультициклон и после освобождения от радиоактивных аэрозолей сбрасывали в атмосферу через вентиляционную трубу.

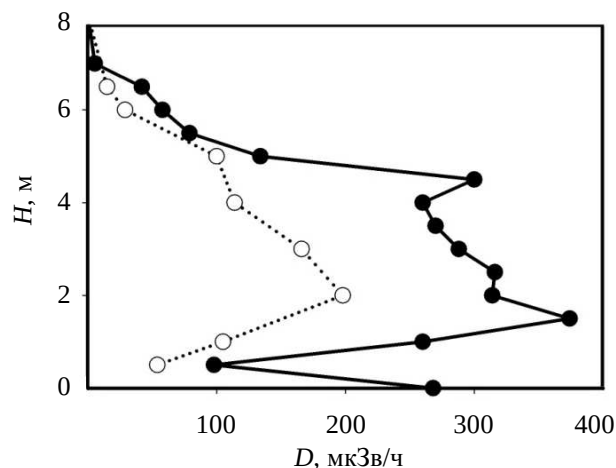
Для оптимизации демонтажа было проведено радиационное обследование помещений системы водоочистки и вентиляционной трубы. Обследование включало видеосъемку внутри помещений, измерение мощности экспозиционной дозы по высоте помещений и активности основных радионуклидов по высоте исследуемых емкостей. Для обследования в верхних перекрытиях помещений системы водоочистки были просверлены отверстия диаметром 150 мм.

Видеосъемка показала, что в помещениях сухо, протечек нет (рис. 1). На основании видеосъемки были спланированы радиационные измерения с помощью стандартного прибора УИМ2-2.

На рис. 2 видно, что наибольшая мощность экспозиционной дозы наблюдается в нижней части емкостей. Можно предположить, что их не промывали после останова реактора и на дне



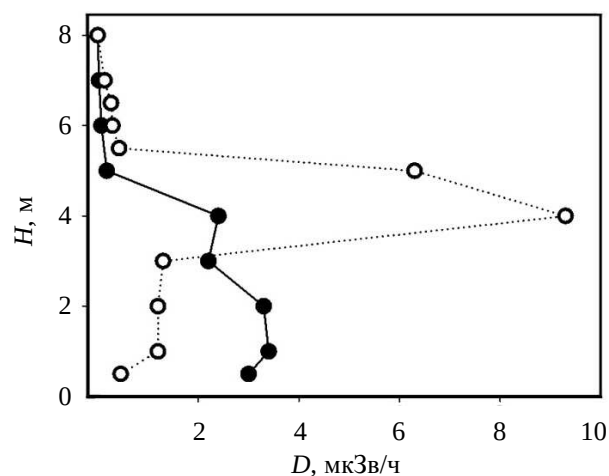
Р и с. 1. Абсорбционная колонна



Р и с. 2. Изменение мощности экспозиционной дозы по высоте в помещениях емкостей-отстойников 1, 2 (●), 3, 4 (○)

остался радиоактивный осадок. Мощность экспозиционной дозы в помещениях адсорбционных колонн значительно выше, чем в помещениях емкостей-отстойников (рис. 3).

Для определения активности радионуклидов по высоте емкостей применяли коллимированную спектрометрическую систему, состоящую из измерительного блока, многоканального анализатора InSpector 2000 (США) и компьютера [7]. Измерительный блок диаметром 30, высотой 80 мм представляет собой полупроводниковый детектор CdZnTe объемом 60 мм³ (Латвия), расположенный в свинцовой защите с коллиматором. Свинцовая защита детектора состоит из неподвижной нижней и подвижной верхней части. При поднятии верхней части защиты открывалось отверстие коллиматора высотой 1,5 см и углом по горизонтали 60°.



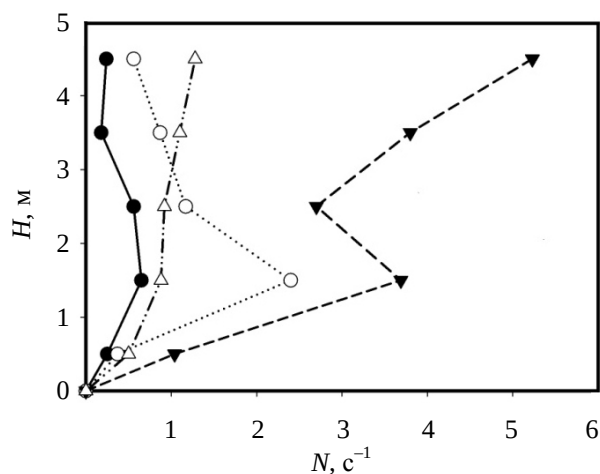
Р и с. 3. Распределение мощности экспозиционной дозы по высоте адсорбционной колонны 5 (●), 6 (○)

Для измерений детектор, закрепленный на металлической штанге, опускали в отверстия, просверленные в верхнем перекрытии помещений так, чтобы отверстие коллиматора было направлено на сканируемую емкость. В каждой точке проводили два измерения спектра γ -излучения от емкости: с открытым и закрытым коллиматором, что позволяло учесть влияние γ -излучения соседней емкости.

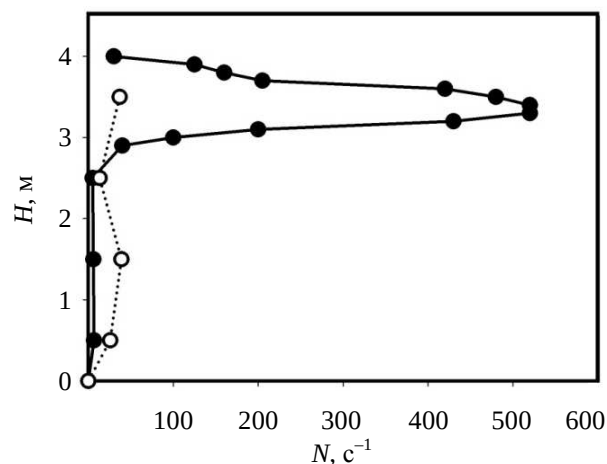
Анализ спектров показал, что загрязнение емкостей обусловлено в основном ^{137}Cs (рис. 4). Радиоактивное загрязнение по высоте неравномерное. В емкостях 3 и 4, в основном, загрязнена нижняя часть. В емкости 2 активность распределена по высоте почти равномерно. Емкость 1 загрязнена как снизу, так и сверху. Без доступа в эти помещения и вскрытия верхних фланцев нельзя однозначно утверждать, емкости пустые или заполнены радиоактивной водой, хотя можно предположить, что воды в них нет. Вероятно, активность емкостей определяется загрязнением внутренних поверхностей и осадком на дне.

Наиболее загрязнена верхняя часть адсорбционной колонны 6, заполненная глауконитом (рис. 5). Можно предположить, что различие в радиоактивности колонн 5 и 6 обусловлено различиями в протекавших в них технологических процессах.

Для обследования внутреннего объема вентиляционной трубы в стене на высоте 1,5 м от уровня верхних перекрытий помещений емкос-



Р и с. 4. Распределение разностной (с открытым и закрытым коллиматором) скорости счета в пике полного поглощения ^{137}Cs по высоте емкостей-отстойников 1 (▲), 2 (△), 3 (●), 4 (○)



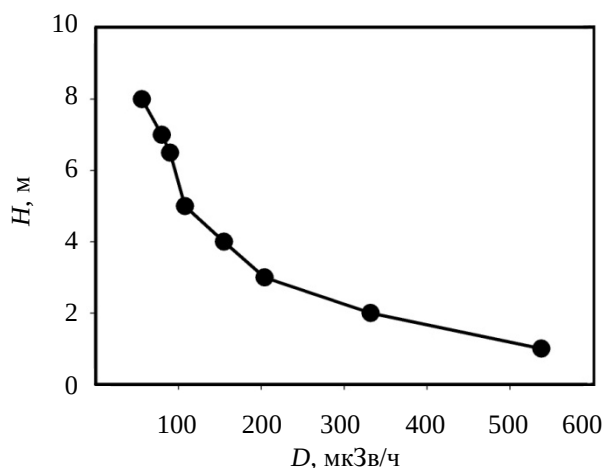
Р и с. 5. Распределение активности по высоте адсорбционной колонны 5 (○) и 6 (●)

тей-отстойников было просверлено отверстие диаметром 150 мм. Видеообследование через это отверстие показало, что внутри трубы находятся металлические конструкции, в том числе в нижней части трубы частично демонтированные дюзы (рис. 6). Металлоконструкции и дюзы покрыты толстым слоем ржавчины. Мощность экспозиционной дозы по высоте трубы возрастает к ее основанию, достигая максимума около дюз (рис. 7). Предположительно основной вклад в нее внутри трубы вносит излучение металлоконструкций, а не загрязненные внутренние поверхности. Взяты с поверхности дюз пробы показали, что загрязнение ржавчины обусловлено ^{137}Cs — 1,8 кБк/г.

Для определения поверхностного загрязнения исследовали бетонный керн из просверленного отверстия в стенке трубы. С внутренней поверхности керна последовательно сняли два слоя бетона: первый толщиной 0,3, второй



Р и с. 6. Дюзы в нижней части трубы и металлоконструкции



Р и с. 7. Распределение мощности экспозиционной дозы по высоте трубы

0,18 мм. Установили, что бетон загрязнен ^{137}Cs — 480 и 152 Бк/г соответственно. Можно утверждать, что активность поверхности трубы определяется тонким слоем толщиной 0,5—1 мм, что важно при планировании демонтажа трубы и оценке количества радиоактивных отходов. Поверхностная активность внутри трубы (слой 0,5 мм), рассчитанная по этим данным, составляет $3,75 \cdot 10^5$ Бк/м². Эти данные подтверждают предположение о том, что основной вклад в мощность экспозиционной дозы внутри трубы вносит излучение металлоконструкций.

В монжусы 1 и 2, расположенные в нижней части здания в каньоне под вентиляционной трубой, сливали воду из адсорбционных колонн, активность которой превышала норму. В настоящее время каньоны заполнены водой (рис. 8).



Р и с. 8. Каньон с монжусом, залитый водой

Монжусы и трубопроводы покрыты слоем ржавчины. Мощность экспозиционной дозы над поверхностью каньона составляет 0,2 мЗв/ч, в помещении, где расположены каньоны, достигает нескольких единиц мЗв/ч. Анализ проб показал, что активность воды определяется ^{137}Cs — $3,7 \cdot 10^5$ Бк/л.

Радиоактивное загрязнение монжуса измеряли полупроводниковым детектором CdZnTe с угловым коллиматором. Детектор опускали в тонкостенную трубу с закрытой нижней частью, погруженную в заполняющую монжус воду. Первоначально детектор устанавливали вплотную к поверхности, направляя коллиматор на монжус. Затем его располагали на расстоянии от монжуса, направляя коллиматор на воду. В каждой точке выполняли два измерения с закрытым и открытым коллиматором. Разностная скорость счета в пике полного поглощения ^{137}Cs в направлении монжуса составила 2,5 имп./с, на расстоянии от монжуса — 0,4 имп./с. Активность ^{137}Cs в монжусе в несколько раз превышала его активность в воде. Можно предположить, что активность определяется как внешним загрязнением — ржавчиной, которая хорошо сорбирует радионуклиды, так внутренним радиоактивным содержимым монжуса.

Таким образом, радиационное и видеообследование цеха очистки сточных вод реактора РФТ показало, что оптимизация демонтажа потребует дополнительного обследования оборудования, к которому появится доступ. Так, после организации проходов в помещения водочистки будет возможно открыть фланцы емкостей-отстойников, провести дистанционные измерения и видеосъемку внутри них для установления наличия радиоактивных отходов. После удаления металлических конструкций внутри вентиляционной трубы необходимо будет провести повторные измерения поверхностного радиоактивного загрязнения трубы для уточнения глубины проникновения радионуклидов в бетон [8]. Зная толщину загрязненного слоя, можно существенно уменьшить количество радиоактивных отходов.

Из каньонов, в которых расположены монжусы, необходимо удалить радиоактивную воду, что позволит провести тщательное радиационное обследование каньонов и монжусов и оптимизировать их демонтаж.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков В.Г., Зверков Ю.А., Колядин В.И. и др. Подготовка к выводу из эксплуатации исследовательского реактора МР в РНЦ «Курчатовский институт». — Атомная энергия, 2008, т. 104, вып. 5, с. 259—263.
2. Степанов В.Е., Потапов В.Н., Смирнов С.В., Данилович А.С. Радиационное обследование помещений реактора МР с использованием дистанционно управляемой спектрометрической сканирующей системы. — Там же, 2012, т. 113, вып. 2, с. 101—105.
3. Волков В.Г., Иванов О.П., Колядин В.И. и др. Применение дистанционно управляемых механизмов в целях снижения радиационного воздействия на персонал. — Там же, вып. 5, с. 285—289.
4. Лемус А.В., Музрукова В.Д., Павленко В.И. и др. Методы обращения с высокоактивными отходами при выводе из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ. — Там же, 2013, т. 115, вып. 5, с. 271—275.
5. Волкович А.Г., Иванов О.П., Лемус А.В. и др. Особенности демонтажа внутрикорпусных конструкций реактора РФТ. — Там же, 2016, т. 121, вып. 5, с. 294—298.
6. Simirskii Yu., Stepanov A., Semin I. e.a. Graphite research reactor (RFT) spectrometric investigation during dismantling. — In: Proc. of Intern. WM'2017 Symp. USA, March 2017, CD-ROM 17006.
7. Stepanov A., Simirskii Yu., Semin I. e.a. CdZnTe detector using for characterization MR water cleanup system before dismantling. — Ibid., USA, March 2017, CD-ROM 17005.
8. Stepanov V.E., Potapov V.N., Ivanov O.P. The development of non destructive remote measurement method of concrete contamination. — In: Proc. of Intern. ASME'2013 Conf. Belgium, 8—12 Sept., 2013, CD-ROM 96047.

Поступила в Редакцию 30.03.18

УДК 504.054:574

РАДОН В ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ЭЛЬКОНСКОГО УРАНОВОРУДНОГО РАЙОНА В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

Собакин П.И. (ИБПК СО РАН, г. Якутск)

Эльконский урановорудный район расположен в южной части Республики Саха (Якутия) в пределах Эльконского сводово-глыбового поднятия, имеющий горный рельеф с перепадом абсолютных высот от 650 до 1449 м и широким развитием курумников [1]. Эльконский горст вытянут в северо-западном направлении почти на 60 км при ширине 30—40 км. На севере горст ограничен областью сплошного развития платформенного покрова, на юге, востоке и западе — системами глубинных разломов длительного развития. Район исследования характеризуется сложным двухъярусным строением геологических структур, из которых нижний ярус сложен гнейсами, кристаллическими сланцами, кварцитами и гранитоидами архея, верхний состоит из нижнекембрийских осадочных пород (доломиты, мергели, известняки) [2, 3]. Урановые месторождения Эльконского горста относятся к жильно-штокверковому типу и связаны с разрывными структурами, среди которых установлены древние, обновленные в мезозойское время, и молодые, возникшие в мезозое. Главной рудовмещающей является зона Южная, представляющая собой подновленный в мезозое

древний тектонический шов протяженностью 30 км и более. По структурным и вещественным особенностям в пределах зоны Южная выделяются участки, рассматриваемые как отдельные месторождения: Элькон, Эльконское плато, Курунг, Непроходимый, Дружное и Минеевское [3]. Урановое оруденение известно также в параллельных подобных структурах (месторождения Северное, Весеннее) и обособленных молодых разломах (Агдинское, Снежное, Невское, Интересное). Особенностью всех урановых месторождений Эльконского горста является относительно слабая проявленность оруденения на поверхности. Урановая руда в месторождениях локализована в пирит-карбонат-калиевошпатовых метасоматитах с высоким содержанием калия, карбонатов и сульфидов и всегда содержит примеси золота [2, 3].

В настоящее время Эльконский район является главным резервным источником ядерного сырья и одним из крупных урановорудных районов нашей страны [1].

Гидрогеологические условия региона определяются, главным образом, геологическим строением территории, ее климатическими, оро-