

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ВБЛИЗИ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» В ЗОНЕ СТРОИТЕЛЬСТВА «АРКИ»

А. И. Довыдьков, В. А. Краснов, В. Н. Щербин

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Приведены результаты построения модели объемных гамма-полей в воздушном пространстве вблизи объекта «Укрытие». Модель разработана на основе результатов экспериментальных полевых измерений мощности экспозиционной дозы в объемных полях гамма-излучений в пространстве, где предполагаются строительно-монтажные работы при сооружении нового безопасного конфайнмента. Показана возможность использования этих моделей для выбора оптимальных технологий выполнения работ в зоне строительства, по критерию минимизации облучения персонала.

Введение

Исследования мощности экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения в воздушном пространстве вблизи объекта «Укрытие», которые проводились персоналом ИПБ АЭС по контракту SIP-01-3-011, впервые дали наиболее полные сведения о МЭД гамма-излучения в пространстве, где предполагаются строительно-монтажные работы при сооружении нового безопасного конфайнмента (НБК).

Измерения МЭД гамма-излучения проводились на двух участках:

участок 1 (зона монтажа «Арки») - прямоугольник, расположенный на расстоянии от 120 до 265 м на запад от контрфорсной стены и между осью Е (осевая линия «Арки») + 120 м на юг и осью Е + 120 м на север (рис. 1);

участок 2 (зона строительства технологического комплекса) - прямоугольник, расположенный на расстоянии от 60 до 140 м на запад от контрфорсной стены и между осью S и осью S + 70 м на север.

Измерения выполнялись по горизонтальной сетке 18×18 м с привязкой к осям объекта «Укрытие», а по высоте - с шагом 10 м. На участке 1 измерения выполнялись до высоты 110 м над уровнем поверхности промплощадки, а на участке 2 до высоты 40 м от поверхности локальной зоны. Всего было выполнено измерений более чем в 1500 точках. Полученные результаты позволили составить картограммы объемных радиационных полей в зоне сооружения НБК [1]. Основной целью этих исследований являлось сопровождение разработки концептуального проекта НБК, в частности для обеспечения соответствия проекта критериям радиационной безопасности в отношении источников ионизирующего излучения, воздействующих на персонал.

Авторы полагают, что полученные результаты полевых измерений можно использовать для моделирования доз облучения персонала, при работах в объемных гамма-полях вблизи объекта «Укрытие», а также использовать эти модели для выбора таких технологий выполнения работ при строительстве НБК, при которых облучение персонала будет наименьшим.

Анализ полевых измерений МЭД в объемных полях вблизи объекта «Укрытие»

При проведении полевых измерений в качестве средств измерений МЭД использовались электронные дозиметры PD-3i. Обработка экспериментальных данных проводилась по показаниям, занесенным в память «истории доз» этих дозиметров. В точки измерения дозиметры доставлялись воздушным шаром, наполненным гелием. Время установки дозиметров в заданные точки и время запоминания в памяти показаний дозиметров хронометрировалось в полевом журнале со строгой временной привязкой к координатам точек.

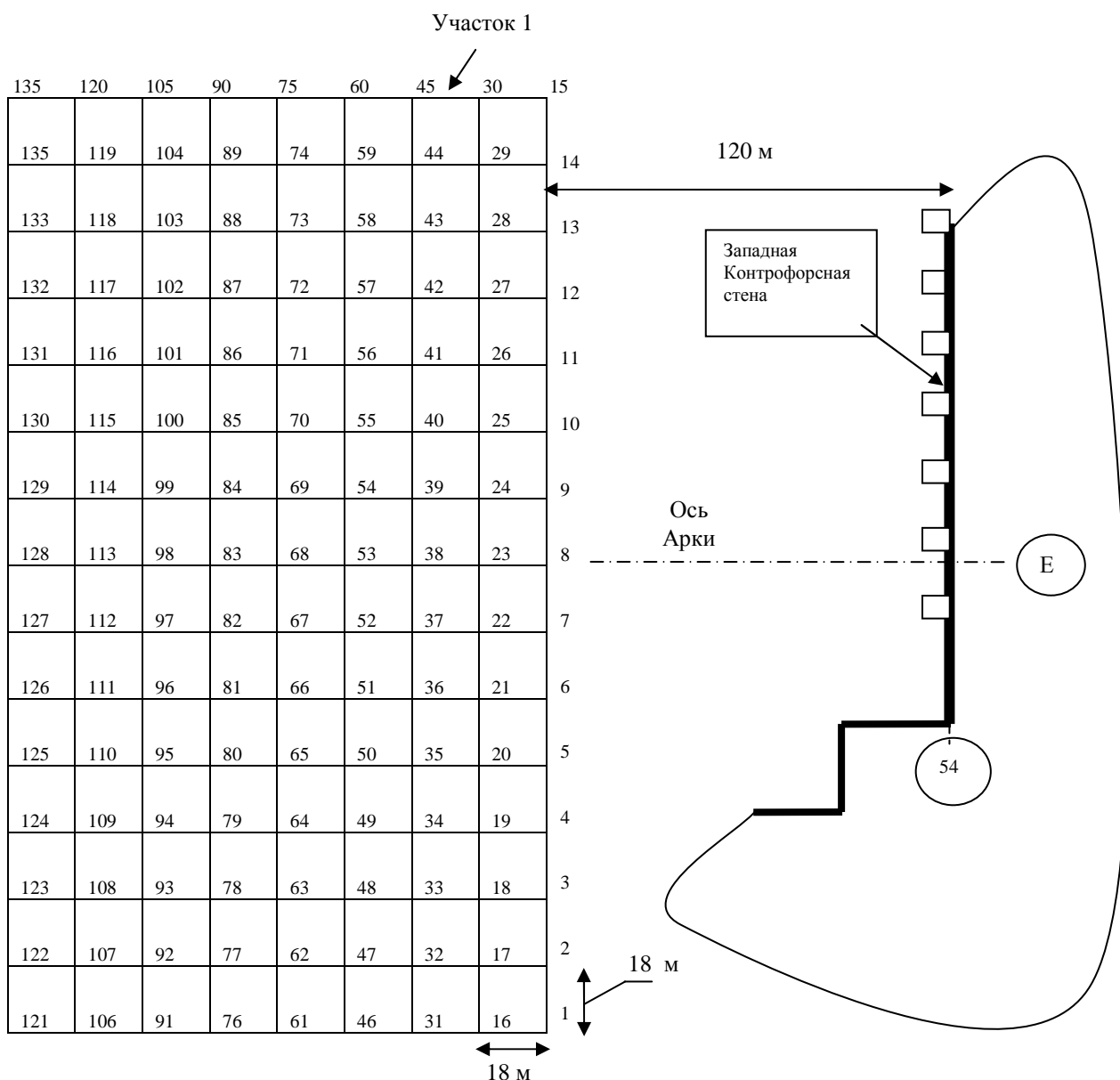


Рис. 1. Расположение участка 1 относительно строительных осей объекта «Укрытие».

За результат измерений для каждой контрольной точки принималось среднее арифметическое показаний дозиметров в этой точке, из которых предварительно исключались грубые погрешности [2].

Проведенные экспериментальные исследования имеют следующие особенности:

большой объем требуемых измерений, которые надо было выполнить в короткие сроки;

влияние погодных условий на точность установки дозиметров в заданные контрольные точки исследуемого воздушного пространства;

влияние большого числа факторов на погрешности результатов измерений.

Влияние различных факторов на точность измерений МЭД вызывало разброс показаний и затрудняло непосредственное использование некоторых экспериментальных данных для анализа и количественных расчетов. Ниже приведены основные из этих факторов, влияющие на разброс показаний дозиметров.

Поток гамма-импульсов, регистрируемых дозиметром, имеет случайный характер как по времени воздействия, так и по энергии импульсов. Поэтому и количество импульсов,

регистрируемых дозиметрами за единицу времени, также является случайной величиной. При этом дисперсия показаний дозиметров зависела от интервала счета. Чем больше интервал, тем ближе результат измерения к среднему значению МЭД в точке нахождения дозиметров. В то же время особенности работы в условиях объекта «Укрытие» накладывают ограничения на допустимое время выполнения работ. С целью уменьшения облучения персонала были выбраны наиболее рациональные интервалы измерений. Дозиметры выдерживались в контрольных точках 5 - 6 мин. Это было достаточное время для запоминания 5 - 6 показаний в память дозиметров с периодом записи 1 мин.

На аппаратурные погрешности показаний дозиметров в основном влияют следующие факторы:

- уровень МЭД в точке измерения;

- точность калибровочного коэффициента - приращения показания дозы на один отсчет датчика;

- скорость изменения МЭД в точке нахождения дозиметра (в частности, при его перемещении в переменном гамма-поле или при изменении его угловой ориентации относительно источника излучения);

- интервалы осреднения показаний (или количество регистрируемых отсчетов) дозиметров.

Анализ показал, что на достоверность результатов измерения МЭД в объемных полях объекта «Укрытие», кроме собственных погрешностей дозиметров, большое влияние оказывали также факторы, связанные с методикой планирования и проведения экспериментов. К таким факторам можно отнести:

- погрешности, вызванные отклонением координат установки дозиметров в контрольные точки;

- погрешности хронометража (временной привязки показаний, записанных в «историю доз» к координатам контрольных точек);

- погрешности, обусловленные ограниченностью интервалов осреднения;

- ошибки человека-оператора, неизбежные при обработке большого объема показаний дозиметров.

Указанные факторы вызывали дополнительную погрешность результатов измерений. Поэтому при построении картограмм распределения МЭД непосредственно по экспериментальным данным на графических диаграммах появлялись отдельные «аномальные» участки, в которых динамика изменения МЭД не соответствовала «здравому смыслу». В частности, были участки типа «точечных источников» или «защитных экранов», якобы находящихся в воздушном объеме. Это нарушало целостность интерпретации результатов измерений и затрудняло их практическое использование.

Понятно, что в исследуемом воздушном пространстве около объекта «Укрытие» нет точечных источников ионизирующих излучений или экранов, способных резко изменить МЭД в соседних точках объема. В каждой точке этих объемов значение МЭД обусловлено влиянием многих источников, расположенных на земле и в объекте «Укрытие». Для большинства точек в этих полях относительный градиент МЭД (относительная разность показаний МЭД в соседних точках), вычисленный по экспериментальным данным, действительно имеет небольшие значения и не превышает 5 %. Наибольшие значения градиента оказались в локальной зоне вблизи объекта «Укрытие», где с высотой проявлялось сильное влияние на показания дозиметров источников ионизирующих излучений, находящихся под кровлей объекта «Укрытие» и на крыше машинного зала.

Основной практический интерес представляют данные о значениях МЭД в объеме участка 1, где предполагается проводить основные строительные работы (см. рис. 1). Общая тенденция изменения МЭД в воздушном пространстве объекта «Укрытие» на участке 1 характеризуется увеличением МЭД до высоты, примерно 100 м, и при приближении к объекту «Укрытие». Причем на высоте более 110 м МЭД практически уже не увеличивается.

Однако наличие указанных выше отдельных «аномальных» экспериментальных данных, не соответствующих общим тенденциям, нарушало целостность картины и потребовало дополнительных измерений и повторного анализа и обработки полевых данных.

Моделирование объемных радиационных полей в зоне строительства «Арки» и доз облучения персонала

Для повышения точности и более эффективного практического применения полученных экспериментальных данных, приведенных в отчете [1], целесообразно было провести дополнительную обработку полевых данных с учетом всего массива полученных показаний дозиметров. При этом учитывались и анализировались не только сами показания дозиметров в отдельных точках, но и соотношения показаний в соседних точках воздушного пространства, в частности и градиенты МЭД в соседних точках.

В результате такой дополнительной обработки показаний дозиметров на участке 1 и более подробного анализа показаний МЭД в соседних точках для «аномальных» участков были построены модели распределения МЭД в этом объеме, которые, по нашему мнению, более точно отражают реальные гамма-поля объекта «Укрытие» и более удобны для практического применения.

Модель объемных гамма-полей в зоне строительства "Арки" удобно представить следующими способами:

в виде таблиц значений МЭД в узловых точках объема, «привязанных» к строительным осям объекта «Укрытие»;

в виде графиков, показывающих характер изменения МЭД от координат точек внутри объема.

В качестве примера в таблице даны значения МЭД в узловых точках модели объема на участке 1 для точек 1 - 45, а на рис. 2 и 3 - графики изменения МЭД по высоте и горизонтали для двух вертикальных сечений модели объемных полей участка 1. Приведенные графики показывают, что изменения МЭД в полученной модели имеет плавный характер. При этом значения МЭД монотонно возрастают с высотой и по мере приближения к объекту «Укрытие», а аномальные участки отсутствуют.

Разработанная модель позволяет провести моделирование доз облучения персонала в зависимости от маршрутов движения и времени пребывания на различных участках в зоне строительства «Арки». Результаты такого моделирования дают возможность выбирать наиболее рациональные технологии выполнения работ с учетом критерия минимизации дозовых нагрузок.

Базой для моделирования облучения является объемная модель с указанием значений МЭД в узловых точках объема. Задавая начальные координаты, маршрут перемещения, скорость движения, время нахождения в промежуточных точках и другие технологические параметры, можно определить суммарные дозы облучения персонала. Сравнение результатов моделирования для различных вариантов позволяет выбрать наиболее оптимальную технологию выполнения работ.

В зависимости от используемого программного инструмента исходные данные (координаты точек, интервалы времени, скорости движения и др.) могут задаваться графически или таблично в определенном формате интерфейса, удобном для пользователей.

Предлагается следующая методика моделирования доз облучения. Объемные гамма-поля объекта «Укрытие» можно разделить на элементарные объемы с известными значениями МЭД в узловых точках, в которых проводились измерения и которые являются вершинами этих элементарных объемов (рис. 4). Таким образом, границы этих элементарных объемов будут строго привязаны к строительным осям объекта «Укрытие». Зная значения МЭД в узловых точках, можно определить значения МЭД в любой точке как внутри элементарного объема, так и в соседних объемах. При этом для обеспечения приемлемой точности и упрощения расчетов достаточно использовать линейную аппроксимацию.

Моделирование МЭД на участке 1 объекта «Укрытие»

№ точки	Среднее значение МЭД, мР/ч (высота указана от уровня промплощадки, м)										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	9,0	11,1	12,9	17,3	22,0	27,4	32,4	38,0	41,4	42,6	43,1
2	10,0	12,1	15,6	20,5	27,1	34,0	40,0	44,4	47,7	49,6	50,4
3	10,7	14,9	19,6	27,1	34,1	40,9	44,8	49,8	53,1	55,8	56,4
4	14,2	17,8	24,8	33,2	40,6	44,2	47,3	50,8	53,3	55,3	56,5
5	14,5	17,9	25,3	33,6	41,6	45,5	48,5	52,2	54,1	55,8	56,5
6	13,4	17,5	24,0	33,1	40,6	44,6	47,2	49,5	51,5	53,3	54,0
7	12,6	15,2	20,0	28,5	36,0	40,8	42,9	44,8	46,5	48,2	49,1
8	11,9	14,9	18,6	25,2	31,0	36,1	39,9	42,1	44,7	46,3	47,4
9	12,6	14,4	17,7	20,9	26,4	30,6	34,7	36,9	39,5	41,8	42,7
10	11,0	13,3	15,7	17,5	19,8	24,2	28,2	31,5	33,8	35,1	35,9
11	10,5	11,8	13,4	15,3	17,6	20,4	23,4	25,5	27,5	28,6	29,3
12	9,6	10,9	12,4	13,3	15,2	17,4	19,4	20,9	21,8	22,3	22,8
13	7,4	8,4	9,6	11,3	13,7	15,8	17,6	18,6	19,1	19,6	19,8
14	6,8	7,4	8,6	9,8	11,7	13,5	14,8	16,0	17,3	17,9	18,3
15	6,0	6,9	7,5	8,4	9,7	11,1	11,6	12,4	12,8	13,2	13,5
16	7,9	9,0	10,8	13,5	16,3	20,0	24,0	27,5	29,2	31,4	31,8
17	8,4	10,4	13,3	17,3	22,0	27,2	30,6	33,0	34,5	36,2	37,1
18	9,9	12,0	16,0	22,4	28,4	34,1	37,6	39,6	41,6	43,3	44,0
19	11,3	14,0	18,1	25,4	32,0	35,6	38,0	40,6	42,0	43,3	44,1
20	12,0	13,9	19,7	24,4	31,1	34,4	36,2	37,7	39,6	40,2	40,7
21	11,8	14,0	18,6	24,3	29,3	31,4	33,3	34,8	36,3	38,0	39,5
22	10,7	12,3	15,7	20,3	25,3	27,6	30,4	32,0	33,3	35,4	36,1
23	10,7	12,3	14,8	19,1	23,3	26,2	28,1	29,9	32,0	34,4	35,0
24	11,0	12,0	14,5	16,5	19,2	22,3	23,9	25,8	27,6	30,2	31,2
25	8,6	10,9	12,7	14,0	15,4	18,2	19,8	22,0	23,8	25,6	26,2
26	7,5	9,1	10,5	12,1	14,3	16,3	18,1	19,6	21,1	22,6	23,0
27	7,7	8,7	9,8	10,8	11,7	13,5	15,4	17,3	18,0	18,6	19,0
28	6,4	7,2	7,9	9,1	10,5	11,8	13,4	14,2	15,0	15,8	16,4
29	5,1	5,6	6,7	7,3	8,3	9,5	10,8	11,9	12,9	14,1	14,5
30	4,4	5,2	5,7	6,3	7,0	8,1	9,0	9,9	10,3	10,8	11,1
31	7,0	8,0	9,5	11,3	13,0	15,6	18,4	21,0	22,4	23,7	24,1
32	8,1	8,6	10,9	13,7	16,3	19,1	22,3	24,3	25,7	26,9	27,4
33	8,8	9,9	12,2	16,0	20,8	22,9	24,3	26,4	28,0	29,2	29,5
34	9,5	10,3	12,5	16,6	21,4	24,1	26,1	28,0	29,3	31,0	31,6
35	9,8	11,4	14,2	18,2	21,4	24,1	25,8	27,5	28,8	30,0	30,4
36	9,6	11,6	13,2	16,6	20,9	23,3	25,4	26,9	28,4	29,5	30,1
37	9,6	11,4	12,3	15,8	18,4	20,9	23,3	25,2	26,3	27,4	27,8
38	8,2	9,0	10,6	12,8	16,4	18,2	20,9	22,6	25,0	25,9	26,6
39	7,8	9,3	11,2	12,2	13,9	16,1	17,9	19,4	21,2	22,8	23,3
40	6,9	8,2	9,8	10,9	11,7	13,4	15,1	17,2	19,1	20,4	20,9
41	6,4	7,5	8,5	9,7	11,1	12,6	14,2	15,2	16,5	17,8	18,3
42	5,6	6,5	7,2	8,2	9,4	10,8	12,2	13,8	14,7	15,0	15,4
43	4,9	5,7	6,3	7,5	8,4	9,4	10,9	11,9	12,6	13,5	13,9
44	4,2	4,9	5,5	6,0	6,6	7,3	8,4	9,3	10,1	10,9	11,3
45	3,6	4,3	4,8	5,3	5,5	6,2	6,8	7,4	7,9	8,5	8,7

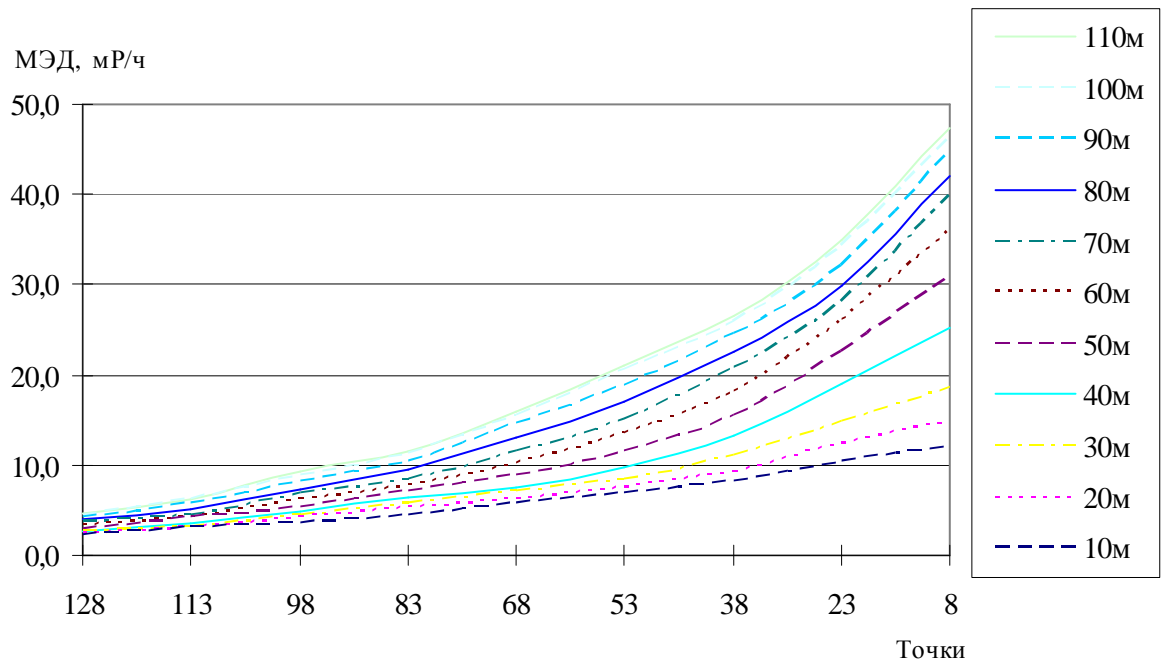


Рис. 2. МЭД на участке 1 в вертикальном сечении по точкам 8 - 128.

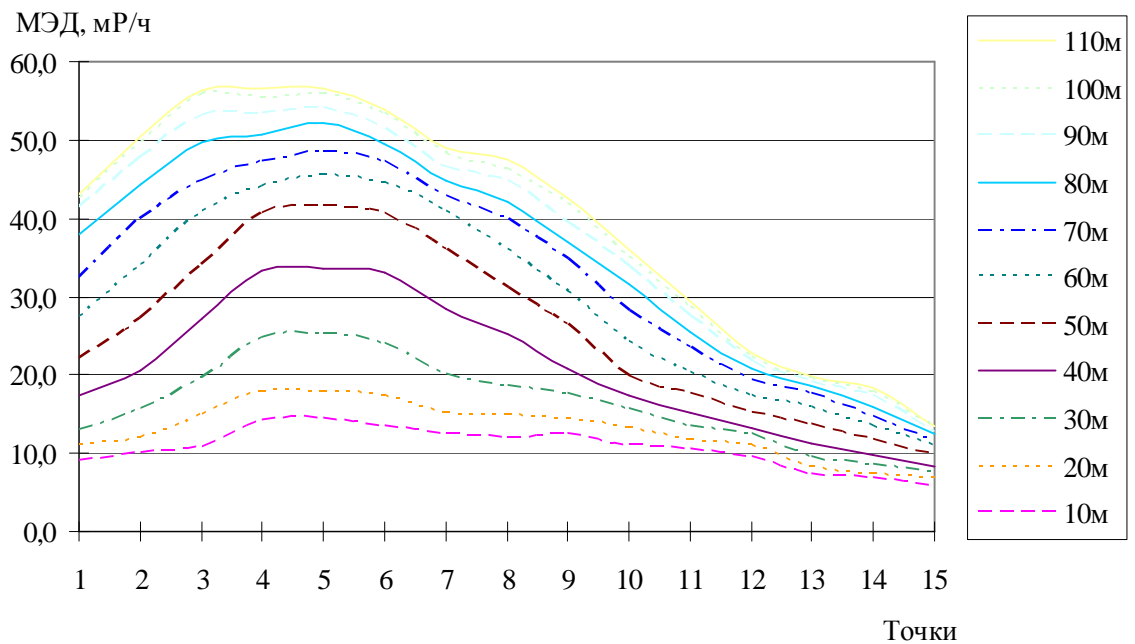


Рис. 3. МЭД на участке 1 в вертикальном сечении по точкам 1 - 15

Для примера рассмотрим элементарный объем гамма-поля с известными значениями МЭД в узловых точках $A_1, A_2, A_3, A_4, B_1, B_2, B_3, B_4$ (см. рис. 4). Значения МЭД в промежуточных точках элементарного объема ($t_1 - t_5$), зная их расположение относительно узловых точек, можно вычислить по следующим формулам:

$$\text{МЭД}(t_1) = \text{МЭД}(B_1) - (\text{МЭД}(B_1) - \text{МЭД}(B_2)) \cdot (B_1 t_1) / (B_1 B_2),$$

$$\text{МЭД}(t_2) = \text{МЭД}(t_1) - (\text{МЭД}(t_1) - \text{МЭД}(t_4)) \cdot (t_1 t_2) / (t_1 t_4),$$

$$\text{МЭД}(t_3) = \text{МЭД}(t_2) - (\text{МЭД}(t_2) - \text{МЭД}(t_5)) \cdot (t_2 t_3) / (t_2 t_5).$$

Определив МЭД в промежуточных точках, можно вычислить значение эквивалентной дозы при перемещении персонала по указанному маршруту внутри элементарного объема и

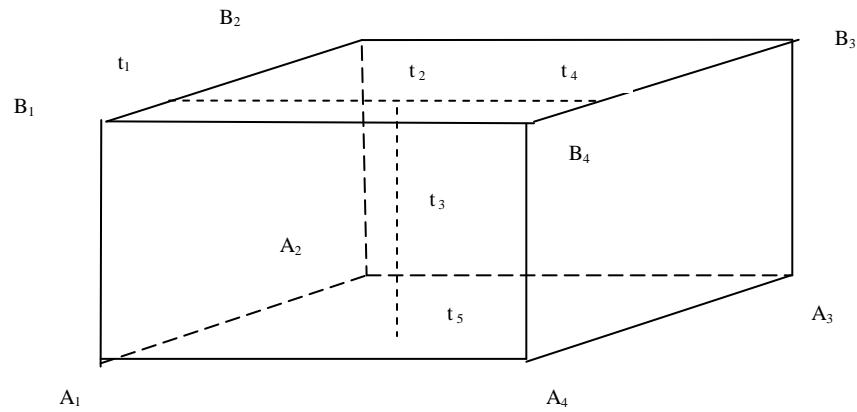


Рис. 4. Элементарный объем гамма-поля.

при переходе в соседний участок. Например, при перемещении из точки t_1 в точку t_3 через точку t_2 суммарную дозу можно вычислить по формуле

$$\begin{aligned} \text{ЭД}(t_1 t_2 t_3) = & (\text{МЭД}(t_1) + \text{МЭД}(t_2)) \cdot \tau_{12} / 2 + (\text{МЭД}(t_2) + \text{МЭД}(t_3)) \cdot \tau_{23} / 2 + \\ & + \text{МЭД}(t_1) \cdot \tau_1 + (\text{МЭД}(t_2) \cdot \tau_2 + \text{МЭД}(t_3) \cdot \tau_3, \end{aligned}$$

где τ_{12}, τ_{23} - время перемещения из точки t_1 в точку t_2 и из точки t_2 в точку t_3 соответственно; τ_1, τ_2, τ_3 - время пребывания в точках t_1, t_2 и t_3 .

Таким образом, зная маршруты движения, скорости перемещения и время выполнения различных технологических операций, можно оценить получаемые дозы облучения людей и выбрать такие технологии работ, которые минимизируют облучение персонала.

Заключение

В результате проведенных исследований получены новые данные о характере изменения МЭД в воздушном пространстве в зоне предполагаемых работ по строительству «Арки». Показано, что МЭД монотонно возрастает с увеличением высоты и с приближением к объекту «Укрытие». Причем в зоне промплощадки градиент значений МЭД незначительный, а с приближением к объекту «Укрытие» значения МЭД резко возрастают.

По экспериментальным данным разработана объемная модель радиационных полей в зоне строительства, которая дает информацию о значениях МЭД в узловых точках объема, с привязкой к строительным осям объекта «Укрытие», которая более точно, чем полевые данные, отражает характер изменения МЭД по высотным и горизонтальным координатам объема.

Предложенная методика использования полученных результатов для оценки дозы облучения персонала при выполнении работ в зоне строительства «Арки» позволяет выбирать такие технологии, которые наиболее рациональны по критерию минимизации доз персонала, выполняющего работы в этих полях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Документ D1.4 «Задача 1. Измерения надземных полей гама-излучения. Фаза 2. Отчет по измерениям. SIP K 01 21 310 MR2 003 02».
2. Довыдьков А. И., Краснов В. А., Мышковский Н. М., Павлюченко Н. И. Экспериментальные исследования мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в воздушном пространстве вблизи объекта «Укрытие» // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. - 2005.- Вип. 2. - С. 69 – 72.

Поступила в редакцию 05.10.05

5 МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛІВ ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ В ПОВІТРЯНОМУ ПРОСТОРИ ПОВБИЗУ ОБ'ЄКТА “УКРИТТЯ” В ЗОНІ СПОРУДЖЕННЯ “АРКИ”

А. І. Довидьков, В. О. Краснов, В. М. Щербін

Наведено результати побудови моделі об'ємних гамма-полів у повітряному просторі поблизу об'єкта “Укриття”. Модель розроблено на основі результатів експериментальних польових вимірювань потужності експозиційної дози в об'ємних полях гамма-випромінювань у просторі, де передбачаються будівельно-монтажні роботи під час спорудження нового безпечного конфайнмента. Показано можливість використання цих моделей для відбору оптимальних технологій виконання робіт у зоні будівництва за критерієм мінімізації опромінення персоналу.

5 MODELLING THE GAMMA-RADIATION FIELDS IN AIRSPACE NEAR OBJECT “SHELTER” WITHIN “UKRYTTYA” CONSTRUCTION ZONE

A. I. Dovyd'kov, V. A. Krasnov, V. N. Scherbin

The results of modeling the volumetric gamma-fields in airspace near Object “Ukryttya” are applied. The model is developed on the basis of results of experimental field measurements of exposition dose rate in volumetric gamma-radiation fields in space, where building and assembly activities are intended during the construction of new safe confinement. The ability of using these models is shown to select optimal technologies of work implementation within construction zone, under the criterion of personnel irradiation minimization.