

## АНАЛИЗ РАСЧЕТА МОЩНОСТИ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

*Обеспечение ядерной и радиационной безопасности персонала на объектах использующих источники ионизирующего излучения и ядерные делящиеся материалы является одной из основных задач на всех этапах жизненного цикла этих объектов. Для минимизации доз облучения персонала, при проектировании основное внимание уделяют правильности выбора биологической защиты. Эффективность биологической защиты должна быть подтверждена расчетами мощности экспозиционной дозы в местах возможного нахождения персонала. Такие расчеты обычно не включают расчет «огибающего» многократно рассеянного гамма-излучения. Особый интерес представляет определение пространственного распределения полей «огибающего» многократно рассеянного гамма-излучения с помощью расчетных кодов. Результаты расчетов показали, что выбор оптимальной толщины стенки биологической защиты необходимо проводить с учетом расчетов «огибающего» многократно рассеянного гамма-излучения, для недопущения превышения допустимых дозовых нагрузок на персонал. Также, для надежной защиты персонала ядерно-физических объектов необходимо учитывать пространственное распределение мощности экспозиционной дозы.*

**Ключевые слова:** рассеянное гамма-излучение, биологическая защита, ионизирующее излучение, ядерная и радиационная безопасность.

### 1. Введение

Обеспечение ядерной и радиационной безопасности персонала на объектах использующих источники ионизирующего излучения и ядерные делящиеся материалы является одной из основных задач на всех этапах жизненного цикла этих объектов.

Одними из основных проектных решений по обеспечению ядерной и радиационной безопасности персонала являются установление контролируемых уровней и зонирование помещений объекта.

Для минимизации доз облучения персонала, при проектировании основное внимание уделяют правильности выбора биологической защиты. Для корректного проектирования необходимо установить критерий оптимальности биологической защиты.

Для того чтобы точно указать в проекте характеристики биологической защиты, необходимо определить характеристики и указать активность источников ионизирующего излучения, выполнить оценки мощности дозы и активности радиоактивных веществ в воздухе и плотности поверхностного загрязнения оборудования, конструкций и стен.

Эффективность биологической защиты установок, на которых планируется использование источников ионизирующего излучения, должна быть подтверждена расчетами мощности экспозиционной дозы в местах возможного нахождения персонала. Такие расчеты обычно не включают расчет «огибающего» многократно рассеянного гамма-излучения. Это компенсируют консерватизмом, заложенным в основу расчетов мощности дозы за биологической защитой, что достигается путем введения коэффициента запаса.

### 2. Анализ публикаций, исследований и нормативной литературы

Согласно [1], проектирование стационарной биологической защиты от внешнего облучения персонала необходимо проводить с коэффициентом запаса по годовой эффективной дозе равным 2.

В работе [2] представлены полученные экспериментальным путем данные по распределению «огибающего» многократно рассеянного гамма-излучения от ускорителя частиц мощностью 4 МВт при работе на мощности. Для регистрации «огибающего» многократно рассеянного гамма-излучения использовался специальный передвижной «щелевой» прибор, позволяющий определить интенсивность рассеянного гамма-излучения с разных направлений. Также показано, что доля «огибающего» многократно рассеянного гамма-излучения может иметь существенный вклад в мощность экспозиционной дозы облучения персонала. Экспериментальным путем подтверждено, что для снижения интенсивности в «пиках» распределения радиационного поля необходимо добиться более равномерного распределения рассеяния внутри защиты ускорителя.

Исследование путей оптимизации конструкций противорадиационной защиты промышленных установок представлено в работе [3]. Показано что с учетом механизмов формирования полей «огибающего» многократно рассеянного гамма-излучения можно получить более точные данные для

конструирования радиационной защиты.

### 3. Цели и задачи исследования

Экспериментальное определение пространственного распределения полей «огигающего» многократно рассеянного гамма-излучения является сложной задачей и требует значительных временных затрат. Особый интерес представляет определение пространственного распределения полей «огигающего» многократно рассеянного гамма-излучения с помощью расчетных кодов.

Целью данной работы является определение вклада рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы с использованием расчетного кода MicroSkyshine и определение зависимости этого вклада от геометрических характеристик биологической защиты.

### 4. Описание расчетной модели

В данной работе представлены результаты исследования точечного источника гамма-излучения, расположенного за бетонной защитной стенкой. Исследование проводилось с использованием компьютерных кодов MicroShield и MicroSkyshine.

Код MicroShield предназначен для расчета мощности экспозиционной дозы от гамма-излучения «прямого прострела». Расчеты в коде MicroShield проводились с учетом фактора накопления в материале защитной стенки. Для расчета мощности дозы «огигающего» многократно рассеянного гамма-излучения использовался код MicroSkyshine. Расчеты в коде MicroSkyshine проводились с учетом фактора накопления в воздухе. Описание данных расчетных кодов представлены в [4, 5]

В данной работе рассматривается точечный источник, поскольку он предоставляет возможность оценки динамики вклада рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы при изменении положения источника.

Геометрическая интерпретация расчетной модели представлена на рис. 1.

В качестве источника излучения был выбран Cs-137, в результате распада  $\beta^-$ -распада превращающийся в Ba-137m (гамма-активный).

Для определения изменения вклада «огигающего» многократно рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы при изменении активности источника расчет мощности экспозиционной дозы проводился на высоте 1 м от уровня пола, в интервале расстояний 2÷10 м от источника излучения с шагом 1 м. Активность источника изменялась в пределах 0,5 – 3 Ки.

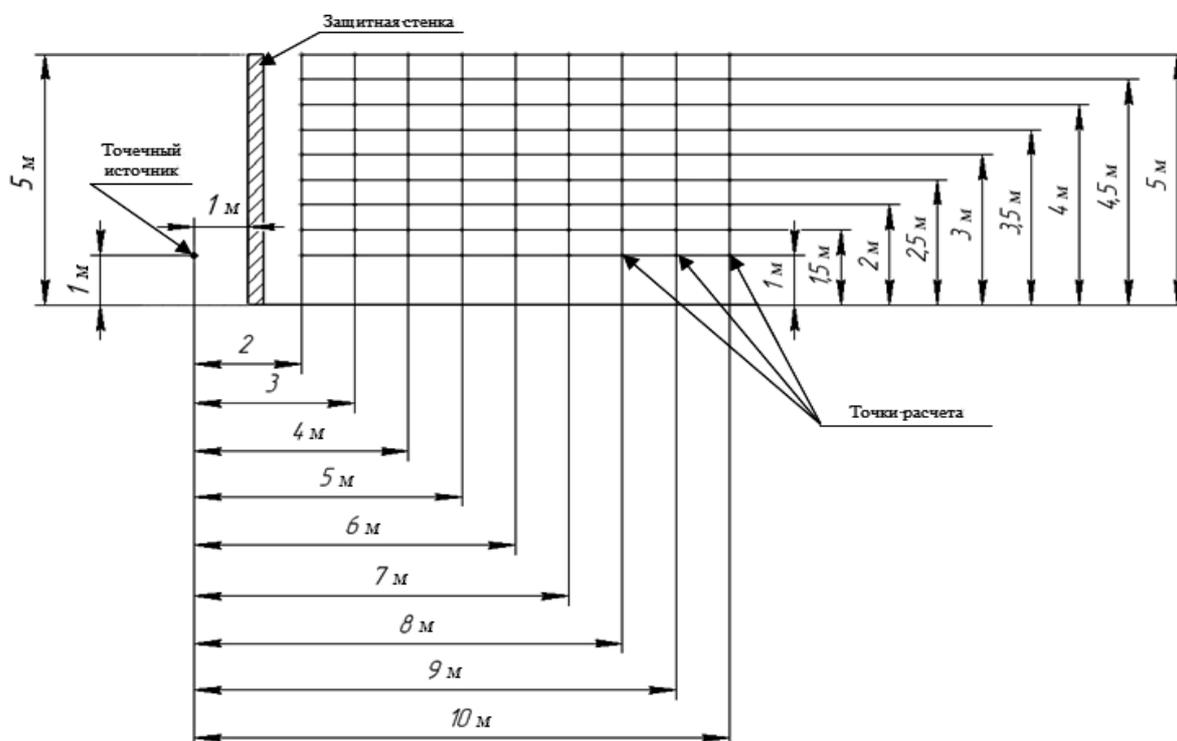


Рис. 1 Геометрическая схема расчетной модели

### 5. Результаты расчетов

В табл. 1 представлены результаты исследования изменения вклада «огигающего» многократно рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы при изменении активности источника.

Вклад рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы при изменении активности источника

Расстояние от источника, м	Вклад рассеянного излучения, %					
	0,5 Ки	1 Ки	1,5 Ки	2 Ки	2,5 Ки	3 Ки
2	1,0514	1,0514	1,0512	1,0512	1,0512	1,0512
3	1,9849	1,9846	1,9851	1,9850	1,9852	1,9854
4	3,0663	3,0650	3,0644	3,0647	3,0653	3,0653
5	4,2494	4,2503	4,2500	4,2499	4,2511	4,2506
6	5,5092	5,5103	5,5106	5,5103	5,5105	5,5087
7	6,8235	6,8268	6,8260	6,8268	6,8263	6,8268
8	8,1811	8,1829	8,1801	8,1807	8,1812	8,1814
9	9,5616	9,5593	9,5613	9,5593	9,5605	9,5612
10	10,9564	10,9558	10,9613	10,9566	10,9564	10,9563

Для определения изменения вклада «огibaющего» многократно рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы при изменении высоты расположения источника расчет мощности экспозиционной дозы проводился на высоте 1 м от уровня пола, в интервале расстояний  $2 \div 10$  м от источника излучения с шагом 1 м. Высота расположения источника изменялась в пределах  $1 \div 4,5$  м. Мощность источника 1 Ки.

На рис. 2 представлены результаты исследования изменения вклада «огibaющего» многократно рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы при изменении высоты расположения источника.

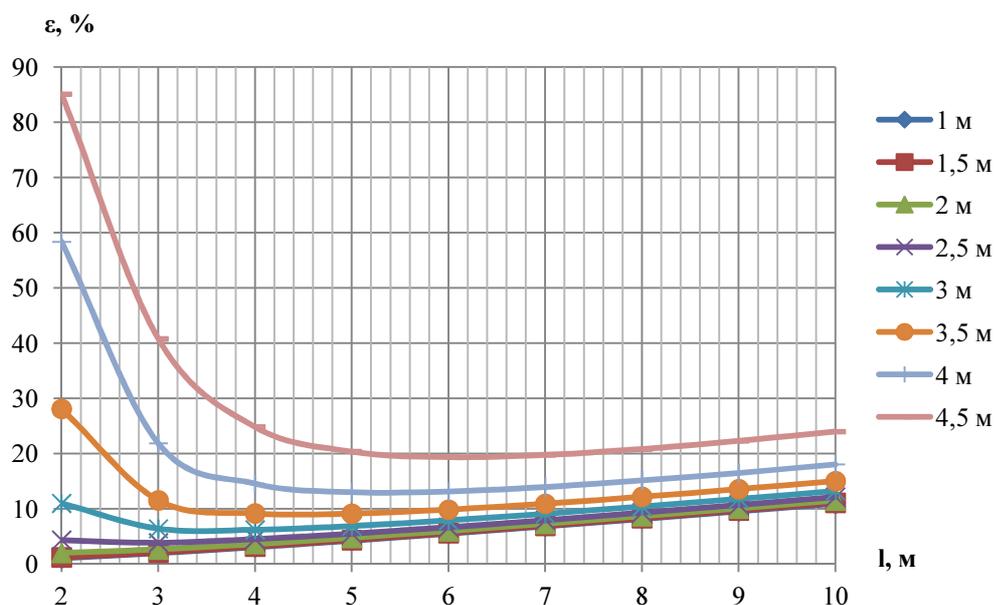


Рис. 2 Вклад рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы при изменении высоты расположения источника

Для определения изменения вклада «огibaющего» многократно рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы при изменении расстояния от источника до внутренней поверхности защитной стенки расчет мощности экспозиционной дозы проводился на высоте 1 м от уровня пола, в интервале расстояний  $2 \div 10$  м от источника излучения с шагом 1 м. Расстояние от источника до стенки изменялось от 0,5 м до 1,5 м. Мощность источника 1 Ки.

На рис. 3 представлены результаты исследования изменения вклада «огibaющего» многократно рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы при изменении расстояния от источника до внутренней поверхности защитной стенки

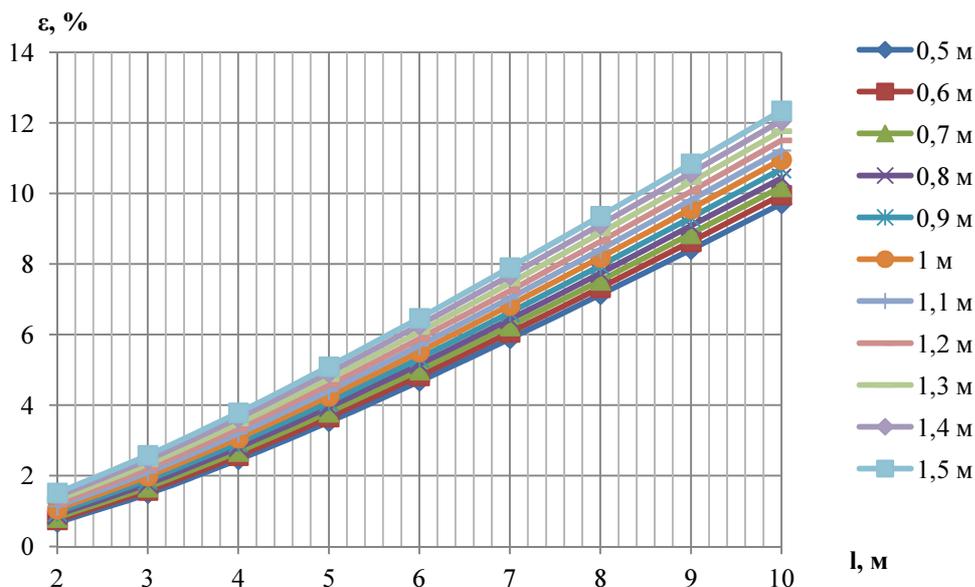


Рис. 3 Вклад рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы при изменении расстояния от источника до стенки

Для определения изменения вклада «огibaющего» многократно рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы при изменении толщины стенки расчет мощности экспозиционной дозы проводился на высоте 1 м от уровня пола, в интервале расстояний 2÷10 м от источника излучения с шагом 1 м. Толщина стенки изменялась от 0,3 м до 0,8 м. Мощность источника 1 Ки.

На рис. 4 представлены результаты исследования изменения вклада «огibaющего» многократно рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы при изменении толщины стенки.

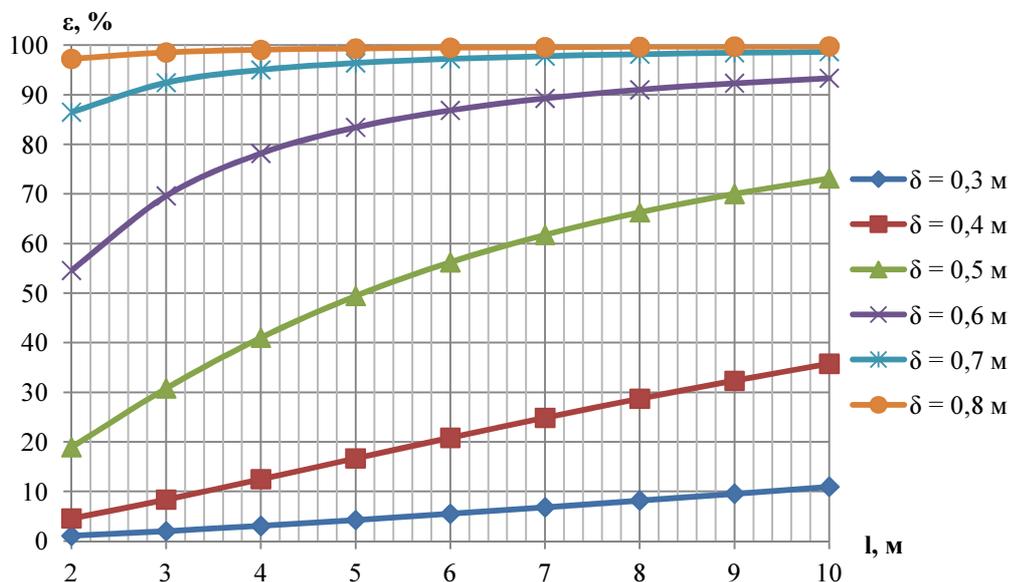
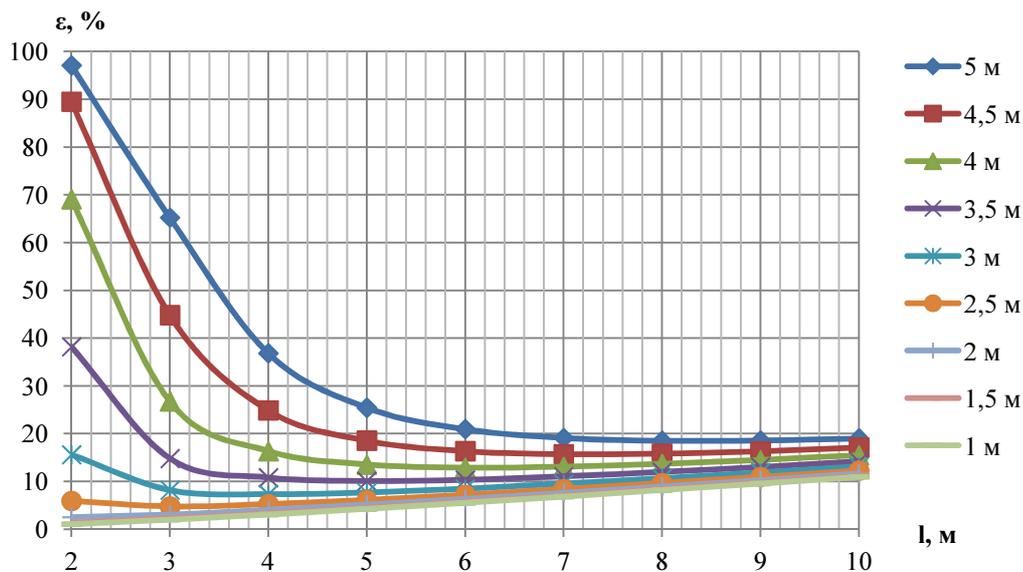
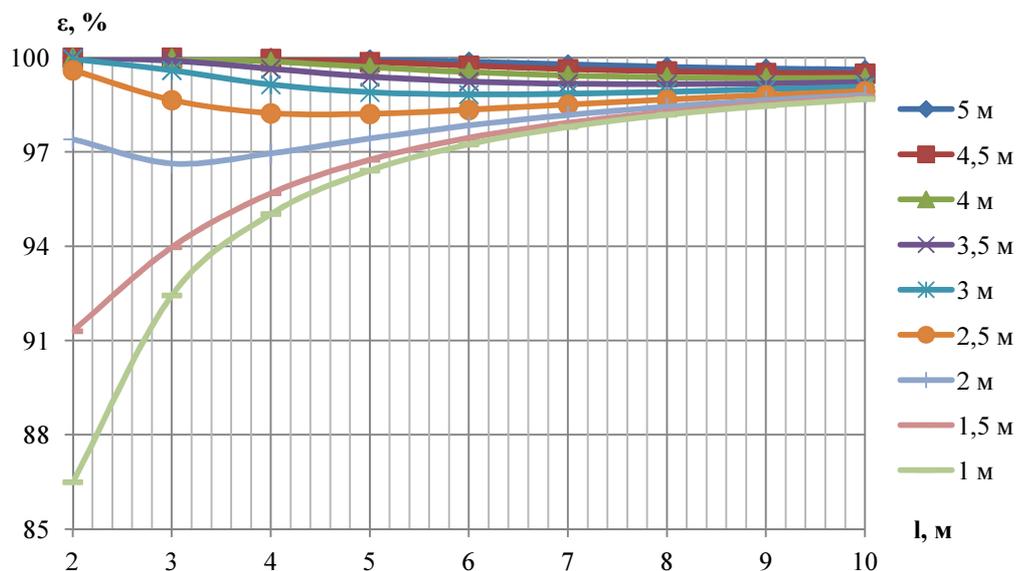


Рис. 4 Зависимость вклада рассеянного гамма-излучения от толщины стенки

Для определения изменения вклада «огibaющего» многократно рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы при изменении высоты расположения расчетной точки относительно пола расчет мощности экспозиционной дозы проводился в интервале расстояний 2÷10 м от источника излучения с шагом 1 м. Высота расположения расчетной точки относительно пола изменялась в интервале 1÷5 м с шагом 0,5 м. Мощность источника 1 Ки.

На рис. 5 и 6 представлены распределения вклада «огibaющего» многократно рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы при изменении высоты расположения расчетной точки относительно пола для защитных стенок с толщинами 0,3 м и 0,7 м соответственно.

Рис. 5 Вклад «огигающего» многократно рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы ( $\delta = 0,3$  м)Рисунок 6 - Вклад «огигающего» многократно рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы ( $\delta = 0,7$  м)

### 6. Анализ результатов

Из представленных в табл. 1 результатов видно, что изменение активности источника излучения не влияет на вклад «огигающего» многократно рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы, что позволяет упростить модель и рассматривать только случай с источником, активностью 1 Ки.

Из рис. 2 видно, что с увеличением высоты расположения источника относительно пола вклад «огигающего» многократно рассеянного гамма-излучения в суммарную мощность экспозиционной дозы увеличивается. Это связано с тем, что при увеличении высоты расположение источника толщина стенки на линии «прямого прострела» увеличивается, что приводит к снижению мощности дозы в расчетной точке.

Как видно из рис. 3 изменение расстояние от источника до защитной стенки в пределах  $0,5 \div 1,5$  м не оказывает особого влияния на вклад «огигающего» многократно рассеянного гамма-излучения в суммарную мощность экспозиционной дозы. Это связано с тем, что изменение расстояние от источника до защитной стенки в пределах  $0,5 \div 1,5$  м не вносит существенного изменения в угол наклона линии «прямого прострела».

Как видно из рис. 4 изменение толщины защитной стенки приводит к увеличению вклада «огигающего» многократно рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы. Это увеличение связано с уменьшением вклада гамма-излучения «прямого прострела».

Из рис. 5 видно, что при небольших толщинах защитных стенок вклад «огигающего» многократно рассеянного гамма-излучения в мощность экспозиционной дозы в пристенных участках существенно зависит от высоты точки расчета. На определенном расстоянии от внешней поверхности защитной стенки значение вклада выходит на постоянный уровень.

Из рис. 6 видно, что при больших толщинах защитных стенок «огигающее» многократно рассеянное гамма-излучение может вносить основной вклад в мощность экспозиционной дозы.

#### 7. Выводы

Выполненные расчеты подтверждают, что расчет рассеянного гамма-излучения является актуальной задачей при проектировании ядерно-физических объектов.

Изменение высоты стенки биологической защиты влияет в основном на значение мощности экспозиционной дозы от «огигающего» многократно рассеянного гамма-излучения, причем при увеличении высоты стенки, вклад от «огигающего» многократно рассеянного излучения уменьшается и наоборот.

Изменение толщины стенки биологической защиты влияет на значение мощности экспозиционной дозы от гамма-излучения «прямого прострела», причем при увеличении толщины стенки вклад уменьшается, а при уменьшении толщины стенки – увеличивается. При определенном значении толщины защитной стенки вклад от гамма-излучения «прямого прострела» становится настолько малым, что дальнейшее увеличение толщины стенки биологической защиты не приводит к уменьшению мощности экспозиционной дозы и этим вкладом можно пренебречь.

Изменение высоты расположения источника излучения влияет на значение мощности экспозиционной дозы как от «огигающего» многократно рассеянного гамма-излучения, так и гамма-излучения «прямого прострела». Причем при увеличении высоты расположения источника излучения вклад «огигающего» многократно рассеянного гамма-излучения увеличивается, а вклад гамма-излучения «прямого прострела» уменьшается и наоборот.

Изменение расстояния от источника излучения до стенки биологической защиты в основном влияет на значение мощности экспозиционной дозы от гамма-излучения «прямого прострела». Причем при увеличении расстояния от источника излучения до стенки биологической защиты вклад гамма-излучения «прямого прострела» уменьшается и наоборот.

Выбор оптимальной толщины стенки биологической защиты необходимо проводить с учетом расчетов «огигающего» многократно рассеянного гамма-излучения, для недопущения превышения допустимых дозовых нагрузок на персонал.

Для надежной защиты персонала ядерно-физических объектов, также необходимо учитывать пространственное распределение мощности экспозиционной дозы.

#### Список литературы

1. СанПин 2.6.1.24-03 «Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций», Минздрав РФ, Россия, 2003 – 30 с.
2. И. М. Вишневский, Т. В. Хрен, В. И. Сахно, А. В. Сахно, А. Г. Зелинский, С. П. Томчай, Н. В. Халова «Исследование рассеянного излучения линейного ускорителя электронов», Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина, 2007 – 4 с.
3. В. И. Сахно «Проблемы оптимизации противорадиационной защиты промышленных радиационных технологических установок», Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина, 2005 – 4 с.
4. “MicroShield. User’s Manual”, Lynchburg, USA, 2009 – 130 p.
5. “MicroSkyshine. User’s Manual”, Lynchburg, USA, 2006 – 135 p.

УДК 621.039.539.7

Ю. К. Шостак; О. В. Сахно, канд. техн. наук

#### Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» АНАЛІЗ РОЗРАХУНКУ ПОТУЖНОСТІ ДОЗИ ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ БІОЛОГІЧНОГО ЗАХИСТУ

*Забезпечення ядерної та радіаційної безпеки персоналу на об'єктах, що використовують джерела іонізуючого випромінювання та ядерні матеріали, що діляться є однією з основних задач на всіх етапах життєвого циклу цих об'єктів. Для мінімізації доз опромінення персоналу, при проектуванні основну увагу приділяють правильності вибору біологічного захисту. Ефективність біологічного захисту повинна бути підтверджена розрахунками потужності експозиційної дози в місцях можливого перебування персоналу. Такі розрахунки зазвичай не включають розрахунок «огинаючого» багаторазово розсіяного гамма-випромінювання. Особливий інтерес представляє визначення просторового розподілу полів «огинаючого» багаторазово розсіяного гамма-випромінювання за допомогою розрахункових кодів. Результати розрахунків показали, що вибір оптимальної товщини стінки біологічного захисту необхідно проводити з урахуванням розрахунків «огинаючого» багаторазово розсіяного гамма-*

випромінювання, для недопущення перевищення допустимих дозових навантажень на персонал. Також, для надійного захисту персоналу ядерно-фізичних об'єктів необхідно враховувати просторовий розподіл потужності експозиційної дози.

**Ключові слова:** розсіяне гамма-випромінювання, біологічний захист, іонізуюче випромінювання, ядерна та радіаційна безпека.

Y. Shostak, A. Sakhno

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

### THE ANALYSIS OF GAMMA DOSE RATE CALCULATION DURING THE BIOLOGICAL PROTECTION DESIGNING

*Nuclear and radiation safety at facilities which using ionizing radiation sources and nuclear fissile material is one of the main tasks at all stages of these objects life cycle. To minimize personnel exposure, the design are focusing on the correct choice of biological protection. Effectiveness of biological protection must be confirmed by calculations of the exposure dose in staff locations. These calculations usually do not include calculations of "bending" multiply scattered gamma radiation. Particular interest is determination of the spatial field distributions of "bending" multiply scattered gamma radiation using computer codes. The calculations results showed that the selection of the optimal biological protection wall thickness should be carried out with taking into account the calculations of "bending" multiply scattered gamma radiation, to avoid exceeding the allowable dose loads on the staff. Also, for the reliable protection of personnel of nuclear physics facilities must be considered the spatial distribution of the exposure dose.*

**Keywords:** scattered gamma radiation, biological protection, ionizing radiation, nuclear and radiation safety.

1. СанПин 2.6.1.24-03 «Sanitary rules for design and operation of nuclear power plants», Minzdrav RF, Russia, 2003 – 30 p.

2. I. M. Vyshnevskiy, T. V. Khrin, V.I. Sakhno and others «The research of the scattered radiation of electrons linear accelerator», Kiev Institute for Nuclear Research, Kiev, Ukraine, 2007 – 4 p.

3. V.I. Sakhno «Problems of anti-radiation protection optimization of industrial radiation technological plants», Kiev Institute for Nuclear Research, Kiev, Ukraine, 2005 – 4 p.

4. "MicroShield. User's Manual", Lynchburg, USA, 2009 – 130 p.

5. "MicroSkyshine. User's Manual", Lynchburg, USA, 2006 – 135 p.

Надійшла 18.03.2014

Received 18.03.2014

УДК 658.26

К.Н. Ткачук, д-р техн. наук, професор; В.В. Калінчик

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

### МЕХАНІЗМИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ТА ШКІДЛИВИХ ФАКТОРІВ ВИРОБНИЧИХ ОБ'ЄКТІВ

*В статті розглянуті механізми побудови системи моніторингу небезпечних та шкідливих факторів виробничих об'єктів. Запропоновано застосування комплексного підходу до оцінювання функціонування систем управління у сфері охорони праці. Показано, що формування показників впливу на рівень ефективності охорони праці потребує механізму оцінювання, який можна здійснити за допомогою графічної моделі емпіричного аналізу, а саме діаграми Ісікави. Наведені основні функції системи моніторингу небезпечних та шкідливих факторів.*

**Ключові слова:** охорона праці, небезпечні та шкідливі фактори, виробничий об'єкт, моніторинг, управління ризиками.

**Вступ.** Моніторинг небезпечних та шкідливих факторів виробничих об'єктів займає важливе місце у сфері охорони праці. Існує два поняття категорії «моніторинг»: перше - спостереження, оцінка та прогноз; друге - спостереження за динамікою розвитку процесів з метою прийняття управлінських