

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Саровский физико-технический институт -
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)

УТВЕРЖДАЮ

Декан физико-технического
факультета СарФТИ НИЯУ МИФИ

_____ А.К.Чернышев

«...» _____ 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дозиметрия и радиационная экология

(наименование дисциплины)

Направление подготовки (специальность) 03.03.01 Прикладные математика и физика

Профиль подготовки Фундаментальная и прикладная физика

Квалификация (степень) выпускника бакалавр
(бакалавр, магистр, специалист)

Форма обучения очная
(очная, очно-заочная (вечерняя), заочная)

Автор _____ к.т. н. Е.Ю. Тарасова

Рецензент _____ к.ф.-м. н. С.В. Воронцов

Зав. кафедрой ЯРФ _____ д.ф.-м.н. Н.В. Завьялов

Руководитель ОПП _____ д.ф.-м.н. Н.В. Завьялов

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и ОС НИЯУ МИФИ
(актуализирован Ученым советом университета, Протокол №21/11 от 27.07.2021 г)

Программа актуализирована на заседании кафедры
Ядерной и радиационной физики
от 30.08.21 протокол №1

г. Саров, 2021 г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цель изучения дисциплины – формирование у будущих специалистов современного представления о дозиметрии и радиационной экологии как науке, изучающей воздействие радионуклидов и ионизирующих излучений на человека и окружающую его среду.

Задачи дисциплины:

- изучение теории и принципов воздействия различных видов ионизирующих излучений на биологические объекты;
- изучение основных положений радиационной безопасности и принципов нормирования;
- изучение основных видов опасности, связанных с эксплуатацией генерирующих и исследовательских ядерных установок;
- научиться применять полученные знания в практической деятельности.

1.2. Место учебной дисциплины в структуре ООП ВО

«Дозиметрия и радиационная экология» читается в 7 семестре обучения по ООП.

«Дозиметрия и радиационная экология» - курс, призванный заложить основы знаний о радиационной безопасности, принципах нормирования облучения и защиты от излучений. Изучение курса основано на базе дисциплин «Общая физика», «Экология».

2. КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ. ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

В совокупности с другими дисциплинами ООП дисциплина «Дозиметрия и радиационная экология» направлена на формирование следующих **универсальных компетенций (УК), профессиональных компетенций и профильных профессиональные компетенции** бакалавра по направлению 03.03.01 Прикладные математика и физика:

- Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов (**УК-8**);
- Способен проводить сбор, анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования (**ПК-1**);
- Способен выбирать и применять необходимое оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области (**ПК-2**);
- способен самостоятельно и в составе группы проводить научные исследования в области ядерной и радиационной физики с применением экспериментальных методов, методов имитационного моделирования, статистических методов обработки экспериментальных данных, методов компьютерного моделирования процессов и объектов (**ПК-8.1**);
- способен к участию в проведении измерений, выполнении экспериментов на ядерно- и электрофизических установках – источниках излучения, высоковольтном и измерительном оборудовании (**ПК-8.2**).

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать

- **З-УК-8** Знать: требования, предъявляемые к безопасности условий жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций и пути обеспечения комфортных

условий труда на рабочем месте

- **З-ПК-1** Знать способы сбора, анализа научно- технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования
- **З-ПК-2** Знать современное оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области.
- **З-ПК-8.1** знать нормы и правила ядерной и радиационной безопасности
- **З-ПК-8.2** знать порядок проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ,

В том числе:

- основные понятия в области дозиметрии и радиационной безопасности;
- принципы нормирования радиационного воздействия;
- биологические эффекты от облучения;
- пути снижения профессионального риска;
- принципы расчета защиты от излучений;
- систему нормативных документов в области обеспечения радиационной безопасности;
- радиационные последствия деятельности предприятия (в том числе при возникновении аварий).

Уметь

- **У-УК-8** Уметь: обеспечивать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций и комфортные условия труда на рабочем месте; выявлять и устранять проблемы, связанные с нарушениями техники безопасности на рабочем месте
- **У-ПК-1** Уметь синтезировать и анализировать научно- техническую информацию по тематике исследования.
- **У-ПК-2** Уметь критически оценивать, выбирать оборудования, инструментов и методов исследований в избранной предметной области
- **У-ПК-8.1** уметь проводить расчетные исследования на сертифицированных кодах в рамках поставленной задачи, оценивать погрешность результатов измерений
- **У-ПК-8.2** уметь создавать математические модели процессов, протекающих в экспериментальных стендах и установках

В том числе:

- оценивать степень радиационной опасности производственного объекта;
- рассчитывать и организовывать защиту от ионизирующих излучений;
- оценивать соответствие радиационной обстановки требованиям норм радиационной безопасности;
- представлять результаты аналитической и следовательской работы в виде выступления, доклада, информационного обзора.

Владеть

- **В-УК-8** Владеть: навыками предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций (природного и техногенного происхождения) на рабочем месте
 - **В-ПК-1** Владеть навыками сбора, синтеза и анализа научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования.
 - **В-ПК-2** Владеть навыками выбора и применения оборудования, инструменты и методы исследований для решения в задач избранной предметной области
 - **В-ПК-8.1** владеть навыками проведения экспериментов на установках и стендах, сопоставления расчетных и экспериментальных данных
 - **В-ПК-8.2** владеть навыками обработки результатов исследований
- В том числе:**
- практическими приемами решения задач в области дозиметрии и радиоэкологии;

- терминологией в области дозиметрии и радиационной экологии;
- навыками применения полученной информации при оценке радиационной опасности объекта;
- навыками самостоятельной работы, самоорганизации и организации выполнения заданий.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 ЗЕ (144 часа), из них аудиторных 16 часов - лекции, 32 часа - практики, включая интерактивную форму обучения – 8 часов, 60 часов - СРС.

3.1 СТРУКТУРА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (АЧ)			Текущий контроль успеваемости (неделя, форма)	Аттестация раздела (неделя, форма)	Максимальный балл за раздел
		Лекции	Практ. занятия/ семинары	Самостоятельная работа			
Тема 1. Радиационная безопасность (радиационная экология) и ее задачи. Природа ионизирующих излучений.	1	1	1				
Тема 2. Основные понятия в радиационной безопасности. Ионизирующее излучение. Активность. Доза излучения.	2	2	2		Устный опрос		
Тема 3. Система дозиметрических величин	3		2				
Тема 4. Воздействие ионизирующего излучения на организм человека. Радиационный риск.	4-6	4	5	10	Устный опрос, участие в дискуссии	Контрольная работа	10
Тема 5. Международные принципы нормирования радиационного воздействия. Публикации МКРЗ.	7		2				
Тема 6. Национальная система нормативных документов в области обеспечения радиационной безопасности. Нормы радиационной безопасности	8	2	2	10	Устный опрос, решение задач		
Тема 7. Организация работ с ИИИ и РВ. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности	9		2	10	Устный опрос, участие в дискуссии		
Тема 8. Организация работ на ИЯУ и ЭФУ. Правила обеспечения радиационной безопасности.	10	2	2		Устный опрос, участие в дискуссии		
Тема 9. Радиационные аварии. Международная классификация аварий по сте-	11		2		Устный опрос		

пени тяжести. Критерии принятия решений.							
Тема 10. Основные принципы защиты от излучения.	12	2	2	10	Устный опрос		
	13		2	10		Контрольная работа	10
Тема 11. Методы дозиметрии: сущность методов и область их применения.	14-15	2	4				
Тема 12. Лицензирование и разрешительная деятельность. Контроль обеспечения безопасности при проведении работ.	16	1	4	10	Обсуждение рефератов, участие в дискуссии		
Работа в семестре:							
Посещаемость	1-16						5
Дискуссии	4-6, 9-10						5
Контрольные работы	6,13						20
Рефераты	15-16						20
Экзамен							50
Итоги за семестр		16	32	60			100

3.2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Радиационная безопасность (радиационная экология) и ее задачи. Природа ионизирующих излучений.

История открытия радиоактивности. Природа ионизирующих излучений, их основные источники и проникающая способность. Радиофобия и реальность. Природный радиационный фон и его составляющие. Роль радона. Техногенные добавки к фону. Области использования радиоактивных веществ и источников ионизирующих излучений. Предприятия атомной энергетики, ядерно-топливного цикла и ядерно-оружейного комплекса – как фактор потенциальной опасности для человека и окружающей среды.

Тема 2. Основные понятия в радиационной безопасности. Ионизирующее излучение. Активность. Доза излучения.

Основные понятия и определения источников и полей ионизирующих излучений. Величины и единицы измерения ионизирующих излучений. Активность радионуклида и единицы ее измерения. Схемы распада радионуклидов. Радиоактивные ряды.

Тема 3. Система дозиметрических величин.

Радиевый гамма-эквивалент. Керма-эквивалент. Связь мощности дозы с активностью гамма-источника. Классификация и определение дозиметрических величин. Физические, нормируемые и операционные величины. Экспозиционная и поглощенная доза излучения. Эффективная и эквивалентная доза облучения.

Тема 4. Воздействие ионизирующего излучения на организм человека. Радиационный риск.

Механизмы действия излучения на живые организмы. Биологическое действие внешнего и внутреннего облучения. Соматические и генетические последствия облучения. Клини-

ческие последствия острого облучения Лучевая терапия. Период полувыведения. Порог действия радиации. Беспороговая концепция. Радиационный риск. Дозовая матрица.

Тема 5. Международные принципы нормирования радиационного воздействия. Публикации МКРЗ.

Нормирование уровней внешнего и внутреннего облучения. Принципы нормирования уровней облучения. Эволюция подходов к нормированию дозовой нагрузки. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) 2009 г. по нормированию уровней облучения профессионально работающих с излучением и остального населения.

Тема 6. Национальная система нормативных документов в области обеспечения радиационной безопасности. Нормы радиационной безопасности.

Законодательная и нормативная база в области обеспечения радиационной безопасности. Федеральные законы «О радиационной безопасности населения» и «Об использовании атомной энергии». Основные нормативные документы федерального уровня «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009) Радиационно-гигиеническая паспортизация, формы государственного статистического наблюдения. Государственный надзор в области обеспечения радиационной безопасности.

Тема 7. Организация работ с ИИИ и РВ. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности.

Реализация принципов обеспечения радиационной безопасности. «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ 99/2010). Организация работ с радиоактивными веществами. Требования к помещениям. Санитарные пропускники и саншлюзы. Обращение с радиоактивными отходами. Критерии отнесения отходов к РАО. Особые и удаляемые РАО. Методика принятия решения об отнесении РАО к особым.

Тема 8. Организация работ на ИЯУ и ЭФУ. Правила обеспечения радиационной безопасности.

Факторы радиационной опасности при эксплуатации исследовательских ядерных установок (ИЯУ) и электрофизических установок, генерирующих ионизирующее излучение (ЭФУ). Гигиенические требования к размещению ИЯУ и ЭФУ. Обеспечение ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации ИЯУ и ЭФУ. СанПиН 2.6.1.2573-2010.

Тема 9. Радиационные аварии. Международная классификация аварий по степени тяжести. Критерии принятия решений.

Ядерные и радиационные аварии: частота, причины, последствия. Классификация ядерных событий по шкале МАГАТЭ. Авария на ЧАЭС, аварии на предприятиях ядерно-топливного цикла, на предприятиях ЯОК. Ликвидация последствий аварий. Планируемое повышенное облучение. Критерии принятия решений. Радиационные события на ИЯУ и ЭФУ.

Тема 10. Основные принципы защиты от излучения.

Основные принципы обеспечения радиационной безопасности при работе с источниками ионизирующих излучений. Защита количеством, временем, экраном и расстоянием. Классификация защит по типу, компоновке, форме и геометрии. Понятие о геометрии широкого и узкого пучка. Методы расчета защиты от фотонного излучения. Взаимодействие нейтронов различных энергетических групп с веществом. Защита от нейтронов. Защита от альфа и бета излучений. Защита от тормозного излучения. Защита от смешанного фотонного и нейтронного излучения. Активация материалов в поле нейтронного излучения. Защита от радиоактивных веществ, образующихся в воздухе. Защита стационарных и передвижных установок.

Тема 11. Методы дозиметрии: сущность методов и область их применения.

Ионизационная камера. Фотографический и химический методы. Сцинтилляционный метод. Полупроводниковые детекторы. Трековые детекторы. Активационный метод. Люми-

несцентный метод. Индивидуальная дозиметрия γ -излучения. Индивидуальная дозиметрия нейтронов. Индивидуальный дозиметрический контроль аварийных доз облучения.

Тема 12. Лицензирование и разрешительная деятельность. Обеспечение безопасности при проведении работ.

Основы радиационной безопасности при работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений. Факторы радиационной опасности. Права, обязанности и ответственность администрации и персонала. Лицензирование. Санитарно-эпидемиологические заключения. Порядок оформления разрешений на работы с источниками излучения. Индивидуальные разрешения Ростехнадзора.

3.3. ПЛАНЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Цель практических занятий – закрепить основные (базовые) понятия изучаемой темы, приобрести навыки дискуссии и решения типовых задач по изучаемой теме.

Номер недели	Номер раздела или темы	Наименование и краткое содержание занятия	Цель и характер занятия	Количество часов очная форма обучения
1	1	Проникающая способность ионизирующих излучений.	Приобретение навыков решения задач.	1
2	2	Активность радионуклида и единицы ее измерения. Экспозиционная и поглощенная доза излучения. Единицы измерения экспозиционной дозы (в системе Си и внесистемные)	Приобретение навыков решения задач.	2
3	3	Радиевый гамма-эквивалент. Керма-эквивалент. Связь мощности дозы с активностью гамма-источника.	Приобретение навыков решения задач.	2
4-6	4	Биологическое действие внешнего и внутреннего облучения. Период полувыведения. Эффективная и эквивалентная доза облучения. Взвешивающие коэффициенты. Расчет эквивалентной и эффективной дозы.	Интерактивная форма обучения. Дискуссия на тему "Теория окислительного стресса".	2
	4	Соматические и генетические последствия облучения. Порог действия радиации. Радиационный риск для населения и персонала. Дозовая матрица.	Интерактивная форма обучения. Дискуссия на тему "Применение дозовой матрицы в практической работе по обеспечения радиационной безопасности персонала"	2
6	2,4	Контрольная работа №1.	Текущий контроль.	1
7	5	Нормирование уровней внешнего и внутреннего облучения. Принципы нормирования уровней облучения.	Приобретение навыков решения задач	2
8	6	Российский опыт внедрения международных стандартов безопасности. Законодательная база в области обеспечения радиационной безопасности населения.	Обсуждение вопросов, приобретение навыков решения задач	2

9,10	7,8	Принципы нормирования радиационного воздействия. Международная и национальная системы обеспечения радиационной безопасности	Приобретение навыков решения задач.	1
			Интерактивная форма обучения. Дискуссия на тему "Эволюция нормирования в Публикациях МКРЗ: от 26 до 103	2
11	9	Ядерные и радиационные аварии. Примеры конкретных радиационных событий на ИЯУ и ЭФУ. Примеры использования международной классификации аварий и радиационных последствий.	Обсуждение вопросов, приобретение навыков решения задач	2
12,13	10	Методы расчета защиты от фотонного излучения: метод слоев ослабления, метод номограмм. Расчет защиты по слоям ослабления.	Обсуждение вопросов, приобретение навыков решения задач.	3
13	10	Контрольная работа №2.	Текущий контроль.	1
14,15	11	Принципы регистрации излучений и их реализация в конкретных методах дозиметрии. Изучение методов индивидуальной дозиметрии внешнего и внутреннего облучения персонала	Обсуждение вопросов, приобретение навыков решения задач	4
16	1-12	Обсуждение отдельных вопросов курса в форме обсуждения рефератов	Приобретение навыков выступления, ведения научной дискуссии.	5

3.4. Интерактивные формы, используемые в реализации дисциплины

Раздел дисциплины (тема)	Интерактивная форма	Кол-во часов	Методы и средства контроля
Раздел 4,7,8. Практические занятия.	1. Дискуссия 2. Анализ конкретных ситуаций 3. Круглый стол по отдельным вопросам курса	8	Оценка активности участия студента

4. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

4.1 ВИДЫ И ФОРМЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

- самостоятельный поиск литературы по разделам и темам курса;
- изучение литературы и подготовка к семинарскому занятию, проводимому в форме дискуссии;
- подготовка рефератов по темам, предложенным преподавателем;
- обсуждение рефератов на семинарских занятиях;
- подготовка к экзамену.

4.2 ФОРМЫ КОНТРОЛЯ

Проверка контрольных работ

Проверка рефератов, сданных преподавателю в письменной форме.

5. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Текущий и итоговый контроль знаний студентов:

- посещаемость лекций, семинарских и практических занятий
- активность на всех видах занятий
- выполнение 2 контрольных работ
- написание 2 рефератов
- сдача экзамена по предложенным вопросам.

5.1. ВОПРОСЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

В процессе изучения дисциплины студент должен выполнить две контрольные работы (6 и 13 недели семестра), состоящие из одного теоретического вопроса и двух расчетных задач (Контрольная работа №1) и двух задач (Контрольная работа №2) (Приложение 1,2). Первый вопрос относится к основным терминам и понятиям дисциплины, второй вопрос касается теоретических основ дозиметрии. Первая задача предполагает вычисление одной из основных величин радиационной безопасности, вторая задача предполагает проведение инженерного расчета радиационной защиты от источника ионизирующего излучения.

5.2. ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ

- 5.2.1. Естественные и искусственные источники ионизирующего излучения в окружающей среде.
- 5.2.2. Ионизационный метод измерения ионизирующих излучений.
- 5.2.3. Сцинтилляционный метод измерения ионизирующих излучений.
- 5.2.4. Химический метод дозиметрии.
- 5.2.5. Термолюминесцентные детекторы в практике индивидуального контроля.
- 5.2.6. Принципы регистрации дозы ионизирующего излучения с использованием полупроводниковых детекторов.
- 5.2.7. Методы регистрации нейтронов. Индивидуальные дозиметры нейтронов.
- 5.2.8. Обеспечение радиационной безопасности при обращении с радиоактивными отходами.
- 5.2.9. Обеспечение радиационной безопасности при эксплуатации генерирующих установок.
- 5.2.10. Определение объемной активности радиоактивных газов.
- 5.2.11. Определение объемной активности аэрозолей.
- 5.2.12. Острое лучевое поражение.
- 5.2.13. Организация работ с радиоактивными веществами.
- 5.2.14. Обеспечение радиационной безопасности при эксплуатации исследовательских ядерных установок.
- 5.2.15. Санитарно-защитная зона и зона наблюдения.
- 5.2.16. Средства индивидуальной защиты персонала.
- 5.2.17. Радиационный риск. Дозовая матрица.
- 5.2.18. Формирование дозы при внутреннем облучении человека.
- 5.2.19. Методы аварийной дозиметрии.
- 5.2.20. Радиационные последствия аварии на ЧАЭС.

5.3. ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

- 5.3.1. Активность радионуклида и единицы ее измерения. Связь мощности дозы с активностью гамма-источника.
- 5.3.2. Экспозиционная и поглощенная доза излучения. Единицы измерения.
- 5.3.3. Биологическое действие внешнего и внутреннего облучения. Соматические и генетические последствия облучения.
- 5.3.4. Порог действия радиации. Беспороговая концепция.
- 5.3.5. Радиационный риск. Дозовая матрица.
- 5.3.6. Основные принципы обеспечения радиационной безопасности при работе с источниками ионизирующих излучений. Защита количеством, временем, экраном и расстоянием.
- 5.3.7. Защита стационарных и передвижных установок.
- 5.3.8. Индивидуальная дозиметрия нейтронов.
- 5.3.9. Индивидуальная дозиметрия γ -излучения.
- 5.3.10. Индивидуальный дозиметрический контроль аварийных доз облучения.
- 5.3.11. Сцинтилляционный метод дозиметрии.
- 5.3.12. Люминесцентный метод дозиметрии.
- 5.3.13. Международная шкала ядерных событий.
- 5.3.14. Ядерные и радиационные аварии: частота, причины, последствия.
- 5.3.15. Законодательная и нормативная база в области обеспечения радиационной безопасности.
- 5.3.16. Организация работ с радиоактивными веществами.
- 5.3.17. Требования к помещениям, предназначенным для проведения работ с радиоактивными веществами.
- 5.3.18. Санпропускники и саншлюзы.
- 5.3.19. Защита от радиоактивных веществ, образующихся в воздухе.
- 5.3.20. Категории облучаемых лиц.
- 5.3.21. Основные дозовые пределы.
- 5.3.22. Контрольные уровни факторов радиационной опасности.
- 5.3.23. Эффективная и эквивалентная доза облучения. Взвешивающие коэффициенты.
- 5.3.24. Радиационно-гигиеническая паспортизация.
- 5.3.25. Лицензирование деятельности в области использования атомной энергии.
- 5.3.26. Организация работ с радиоактивными веществами и техногенными источниками излучения.
- 5.3.27. Факторы радиационной опасности при работе на генерирующих установках.
- 5.3.28. Факторы радиационной опасности при работе с радиоактивными веществами.
- 5.3.29. Открытый и закрытый источник.
- 5.3.30. Ликвидация последствий радиационных событий и аварий.
- 5.3.31. Зона наблюдения и санитарно-защитная зона.
- 5.3.32. Средства индивидуальной защиты.
- 5.3.33. Средства коллективной защиты.
- 5.3.34. Государственный надзор в области обеспечения радиационной безопасности.
- 5.3.35. Права, обязанности и ответственность администрации и персонала.
- 5.3.36. Трековые детекторы.
- 5.3.37. Профессиональное облучение.
- 5.3.38. Детерминированные и стохастические эффекты.
- 5.3.39. Основные принципы обеспечения безопасности: нормирование, обоснование и оптимизации.
- 5.3.40. Планируемое повышенное облучение.

5.4. УРОВЕНЬ ТРЕБОВАНИЙ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

Текущий контроль осуществляется в ходе учебного процесса, консультирования студентов, проверки выполнения ими контрольной работы и реферата.

Формой промежуточной аттестации является экзамен, который проводится в устной форме в виде ответов на вопросы билетов.

Оценка знаний студентов осуществляется в баллах в комплексной форме с учетом:

- работы в семестре:

- оценки за посещаемость занятий ;
- оценка за участие в дискуссиях
- оценки за контрольные работы (две);
- оценки за рефераты (два);

и - оценки знаний в ходе экзамена.

Ориентировочное распределение баллов по видам работы:

- посещаемость занятий – 5 баллов
- участие в дискуссиях – 5 баллов
- контрольные работы – 20 баллов
- рефераты – 20 баллов
- экзамен – 50 баллов
- Итого – 100 баллов

Оценка знаний по 100-балльной шкале в соответствии с критериями СарФТИ НИЯУ МИФИ реализуется следующим образом

Количество баллов	Оценка (ECTS)	
90 - 100	A	"Отлично" – содержание курса освоено полностью, без пробелов; практические навыки работы сформированы; все учебные задания выполнены с высоким баллом
85 - 89	B	"Очень хорошо" – содержание курса освоено полностью; практические навыки работы в основном сформированы; все учебные задания выполнены с высоким баллом
75 - 84	C	"Хорошо" – содержание курса освоено полностью, без пробелов; некоторые практические навыки работы сформированы недостаточно; все учебные задания выполнены с качеством, которое не оценивалось минимальным количеством баллов; некоторые задания выполнены с ошибками
65 - 74	D	"Удовлетворительно" - содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера; необходимые практические навыки работы в основном сформированы; большинство учебных заданий выполнено, но с ошибками
60 - 64	E	"Посредственно" - содержание курса освоено частично; многие задания не выполнены или их качество оценено минимальным количеством баллов
Ниже 60	F	"Неудовлетворительно" – очень слабые знания, недостаточные для понимания курса

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В соответствии с требованиями ОС НИЯУ МИФИ, ФГОС ВО по направлению 03.03.01 Прикладные математика и физика реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, дискуссия по проблемным вопросам, обсуждение рефератов и др.) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

В рамках учебного курса студенты работают с лекциями, рекомендованной литературой, готовятся к тестированию, готовят рефераты. В процессе подготовки студенты используют специализированные программные продукты: юридические информационно-справочные системы (Консультант-Плюс, Гарант), информационные источники, размещенные в сети Интернет (официальные сайты, веб-порталы и веб-представительства организаций, предприятий и учреждений, тематические форумы и телекоммуникации), электронные учебники и учебно-методические пособия.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

нормативная:

1. СанПиН 2.6.1.2523 – 09 НРБ-99/2009 "Нормы радиационной безопасности"
2. СП 2.6.1.2612 – 10 ОСПОРБ 99/2010 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности"
3. СП 2.6.1.2216 -07 СП СЗЗ и ЗН- 2007 "Санитарно-защитные зоны и зоны наблюдения радиационных объектов. Условия эксплуатации и обоснование границ"
4. СанПиН 2.6.1.2573 – 2010 "Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ"

учебники и учебные пособия:

5. Тарасенко Ю.Н. Ионизационные методы дозиметрии высокоинтенсивного ионизирующего излучения. М: изд-во: техносфера. 2013г.
6. Б. П. Голубев «Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений» Для студентов ВУЗов; М.: Энергоатомиздат, 2005.
7. В.И. Иванов «Курс дозиметрии» Для студентов ВУЗов; -М.: Энергоатомиздат, 2004.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

нормативная:

1. Федеральный закон от 09.01.96 № 3-ФЗ "О радиационной безопасности населения"
2. Федеральный закон от 30.03.99 № 52-ФЗ «О санитарно - эпидемиологическом благополучии населения"
3. Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ "Об использовании атомной энергии"
4. Федеральный закон № 190-ФЗ
5. СП 2.6.6.1168-02 СПОРО-2002 "Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами"
6. СанПиН 2.6.1.1281-03 "Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ).
7. СанПиН 2.6.1.07-03 СПП ПУАП-03. "Гигиенические требования к проектированию предприятий и установок атомной промышленности"
8. СП 2.6.1.1282 – 03 "Гигиенические требования к устройству и эксплуатации источников, генерирующих рентгеновское излучение при ускоряющем напряжении от 10 до 100 кВ"
9. Р 2.6.1.17-03 "Руководство по расследованию незапланированного или аварийного облучения персонала предприятий Минатома России"

учебники и учебные пособия:

10. Н.Г. Гусев, В.П. Машкович, А.П. Суворов "Защита от ионизирующих излучений" Т.1. Физические основы защиты от излучений: Учебник для вузов -2е изд М.: Атомиздат, 1980. - 461 с.
11. В.И. Иванов, В.А. Климанов, В.П. Машкович "Сборник задач по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений" Учеб. Пособие для вузов; 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1992.-256с.: ил.
12. В.П. Машкович, А.В. Кудрявцева Защита от ионизирующих излучений: Справочник, 4-е изд., перераб. И доп., М.: Энергоатомиздат, 1995. 496 с.
13. Н.С. Бабаев, В.Ф. Демин, Л.А. Ильин, В.А. Книжников, И.И. Кузьмин, В.А. Легасов, Ю.В. Сивинцев. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда. (Под ред. акад. А.П.Александрова). Москва, Энергоиздат, 1981, с. 286.
14. Ю.И.Брегадзе, Э.К.Степанов, В.П.Ярина. Под ред. Ю.И.Брегадзе «Прикладная метрология ионизирующих излучений»; - М.: Энергоатомиздат, 1990. 264 с.
15. В.П. Машкович, А.М. Панченко «Основы радиационной безопасности», Москва, Энергоатомиздат, 1990
16. В.А. Кутьков, Б.В. Поленов, В.А. Черкашин «Радиационная безопасность и радиационный контроль» (в двух томах), Обнинск, НОУ «ЦИПК», 2008
17. В.Ф. Козлов. Справочник по радиационной безопасности. Энергоатомиздат, 1999
18. Дозиметрический и радиометрический контроль при работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений. Под общ.ред. В.И.Гришмановского. Т.1. Организация и методы контроля. М.: Атомиздат, 1980. 272 с.
19. Дозиметрический и радиометрический контроль. Радиометрия проб. Под общ. ред. В.И.Гришмановского. М.: Энергоиздат, 1981. 208 с.

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Материально-техническое обеспечение включает в себя специально оборудованные кабинеты и аудитории: компьютерные классы, аудитории, оборудование мультимедийными средствами обучения.

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ И СТУДЕНТОВ)

Изучение дисциплины "Дозиметрия и радиационная экология" предполагает освоение материалов лекций, систематическую работу студентов в ходе проведения семинарских занятий, решение контрольных и тестовых заданий, подготовку рефератов. На самостоятельную работу студентов при изучении дисциплины "Дозиметрия и радиационная экология" отводится 94 часа. Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение настоящей дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в разделе 7 рабочей программы "Дозиметрия и радиационная экология". По каждой из тем следует сначала прочитать конспект и рекомендованную литературу и при необходимости составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в изучаемой теме. Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы: проводить поиск в различных поисковых системах и использовать материалы сайтов, рекомендованных на лекциях.

Одной из задач преподавателя является выработка у студентов осознания важности, необходимости и полезности знания дисциплины для их дальнейшей работы по специальности. Принципами организации учебного процесса являются:

- выбор методов преподавания в зависимости от факторов, влияющих на организацию учебного процесса
- активное участие студентов в учебном процессе
- проведение практических занятий, позволяющих приобрести навыки решения конкретных вопросов обеспечения радиационной безопасности
- приведение примеров применения изучаемого теоретического материала к реальным практическим ситуациям.

Используемые методы преподавания: лекционные занятия, индивидуальные и групповые задания при проведении практических занятий.

На лекциях раскрываются основные вопросы в рамках рассматриваемой темы, ставятся акценты на наиболее сложных положениях изучаемого материала. Материалы лекции используются студентами для подготовки к семинарским занятиям.

Целью семинарского занятия является рассмотрение основных и наиболее проблемных вопросов в рамках темы занятия.

Подготовка рефератов предусмотрена для закрепления и расширения знаний, приобретенных в результате изучения дисциплины. Рефераты выполняются студентами в письменном виде во внеаудиторное время. Реферат должен носить творческий характер. При его оценке учитывается обоснованность выводов. В реферате студент должен полно и всесторонне рассмотреть все аспекты выбранной темы, четко сформулировать и аргументировать свою позицию по исследуемому вопросу.

Преподавание дисциплины требует в каждой теме выделить наиболее важные, базовые моменты и сделать акцент на них. Предлагается:

в теме 1 обратить внимание на практическую значимость курса «Дозиметрия и радиэкология», отметить специфику изучаемой дисциплины, принципы обучения, дать советы студентам рекомендации по планированию и организации времени, необходимого для освоения дисциплины, рекомендации по работе с основной и дополнительной литературой;

в теме 2 обратить внимание на основные понятия, термины курса и их связь с понятиями и терминами курсов «Ядерная физика», «Физика атомного ядра и элементарных частиц», классификацию дозиметрических величин;

В теме 3 следует рассмотреть связь между физическими, операционными и нормируемыми величинами и обратить внимание на соотношение между дозиметрическими величинами в системе СИ и внесистемными единицами. При проведении практического занятия обратить внимание на перевод дозиметрических величин из системы СИ во внесистемные единицы и обратно;

в теме 4 обратить особое внимание на биологические аспекты радиационной безопасности, риск и ущерб в оценке последствий облучения человека. На практическом занятии продолжить изучение концепции приемлемого риска, обратив внимание на индивидуальные и обобщенные риски. Также следует обсудить дозовую матрицу на примере персонала одного из предприятий;

в теме 5 обратить внимание на современные принципы нормирования уровней облучения, преемственность и научную обоснованность требований радиационной безопасности. На лекции следует обратить внимание на отличие современного подхода, отраженного в Публикации 103 МКРЗ, от подхода, основанного на понятиях практики и вмешательства (Публикация 90 МКРЗ), а также на изменениях в оценке биологических эффектов от облучения;

в теме 6 обратить внимание на российский опыт внедрения международных стандартов безопасности и на отражение рекомендаций МКРЗ в национальных нормативных документах; на законодательную базу в области обеспечения радиационной безопасности населения; на основы регулирования радиационной безопасности (паспортизация организаций и территорий, отчетность предприятий по формам государственного статистического наблюдения, государственный надзор в области обеспечения радиационной безопасности);

в теме 7 обратить внимание на основные принципы обеспечения радиационной безопасности при работе с источниками ионизирующих излучений, а также на организацию работ с РВ в открытом виде в зависимости от активности и минимально значимой активности на рабочем месте. Особое внимание необходимо уделить современной системе обращения с РАО (с учетом Федерального закона №190-ФЗ "Об обращении с радиоактивными отходами..." и Постановления Правительства №1069 "О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов");

в теме 8 обратить внимание на факторы радиационной опасности при работе на ИЯУ и ЭФУ, на требования при выборе площадок размещения установок. Особое внимание обратить на систему нормативных документов, обеспечивающих безопасность при эксплуатации ИЯУ и ЭФУ на предприятиях ядерно-оружейного комплекса;

в теме 9 обратить внимание на ядерные аварии при создании ядерного оружия и их причины; рассмотреть радиационные последствия аварий и международную классификацию ядерных событий. Следует на примере конкретных радиационных событий на ИЯУ и ЭФУ показать примеры использования международной классификации аварий и изучить радиационные последствия;

в теме 10 рассмотреть вопросы взаимодействия излучений с веществом и принципы защиты от излучений. На практическом занятии следует продолжить изучение темы и научиться применять инженерные методы расчета защиты (метод ослабления широкого пучка, метод слоев ослабления, метод номограмм);

в теме 11 обратить внимание принципы регистрации излучений и их реализацию в конкретных методах дозиметрии. Более подробно необходимо изучить методы индивидуальной дозиметрии внешнего и внутреннего облучения и организацию индивидуального контроля персонала (с учетом Руководства по радиационной защите персонала (МАГАТЭ));

в теме 12 рассмотреть вопросы разрешительной деятельности органов государственного контроля, особое внимание уделить порядку получения разрешительных документов (на уровнях организации, подразделения и индивидуальных разрешений).

На практических занятиях на 16 -18 неделях будет проходить обсуждение рефератов. В целях подготовки к экзамену по курсу «Дозиметрия и радиоэкология» студентам следует посоветовать заранее подготовить вопросы по обсуждаемым рефератам, т.к. темы рефератов будут отражены в экзаменационных вопросах.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ОС НИЯУ МИФИ, ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) 03.03.01 Прикладные математика и физика

Приложение 1

Примерные задания для контрольной работы №1

ВАРИАНТ 1

1. Укажите правильное высказывание.
 - a) Экспозиционная доза показывает, какой заряд образовался при прохождении нейтронного излучения через воздух
 - b) Экспозиционная доза показывает, какая энергия была затрачена на ионизацию окружающей среды
 - c) **Экспозиционная доза показывает, какой заряд образовался при прохождении фотонного излучения через воздух**
2. Определить число радиоактивных атомов, содержащихся в препарате ^{24}Na при поступлении его в лабораторию, если через 4 часа после поступления препарата его активность равна 500 мКи. Ответ. $1,72 \cdot 10^{15}$
3. Определить гамма-постоянную ^{60}Co и его активность, которая была бы эквивалентна по создаваемой мощности экспозиционной дозы 1 мКиRa. Ответ. 1,56мг-экв. Ra

ВАРИАНТ 2

1. Укажите правильное высказывание
 - a) **Эффективная доза – мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности.**
 - b) Эффективная доза – величина дозы, при которой возможно возникновение отдаленных последствий для человека и его потомков
 - c) Эффективная доза – мера риска возникновения радиационно-индуцированного рака в отдельных органах и тканях с учетом их радиочувствительности
2. Определить объемную активность ^{40}K в коровьем молоке, если на 1 литр молока приходится 1,4 г естественного K и если он содержит 0,0119 масс. % ^{40}K . Ответ. $1 \cdot 10^{-9}$ Ки/л
3. Гамма-эквивалент радиоактивного препарата равен 0,5 г-экв. Ra. Определить активность источника. Ответ $1,85 \cdot 10^{10}$ Бк

ВАРИАНТ 3

1. Укажите правильное высказывание
 - a) **Стохастические эффекты — вредные биологические эффекты излучения, возникающие при высоких дозах облучения**
 - b) Стохастические эффекты — вредные биологические эффекты излучения, не имеющие дозового порога
 - c) Стохастические эффекты — вредные биологические эффекты излучения, возникающие у облученного человека
2. В организме человека в среднем содержится около 7 Бк радия, 99% которого сосредоточено в костях. Предполагая, что радий равномерно распределен в костях, определить общее число фотонов радия, образующихся за 1 ч в 1 г костей, если их масса равна 7 кг. В среднем на один распад выходит 2,33 фотона Ответ. 8,28
3. Найти гамма-эквивалент источника ^{131}I активностью 20 мКи, если его гамма - постоянная – 14,2 аГр*м²/с*Бк Ответ. 4,6

ВАРИАНТ 4

1. Укажите правильное высказывание
 - а) Активность – это физическая величина, характеризующая скорость ядерных превращений в единицу времени
 - б) Активность – это физическая величина, характеризующая число радиоактивных распадов в единицу времени**
 - с) Активность – это физическая величина, описывающая радиоактивный распад
2. Определить начальную активность радиоактивного препарата ^{27}Mg массой 0,2 мкг, а также его активность через 6 часов, если его период полураспада 10 минут. Ответ $5,15 \cdot 10^{13}$ и 733 Бк
3. Рассчитать мощность поглощенной дозы в воздухе от точечного источника ^{52}Mn активностью $7 \cdot 10^{15}$ Бк на расстоянии 2 метра, если гамма - постоянная нуклида 18, 03 $\text{Р} \cdot \text{см}^2 / \text{ч} \cdot \text{мКи}$ Ответ $8,5 \cdot 10^4$

ВАРИАНТ 5

1. Укажите правильное высказывание
 - а) Радиационный риск зависит от состояния здоровья, полученной дозы облучения, места и работы, возраста при облучении
 - б) Радиационный риск зависит от наследственности, местности проживания, возраста при облучении, достигнутого возраста, полученной дозы за все время жизни
 - с) Радиационный риск зависит от динамики накопления дозы, мощности дозы, типа и энергии излучения, возраста при облучении, достигнутого возраста, пола**
2. Что продолжительнее – 3 периода полураспада или 2 средних времени жизни радионуклида? Ответ. 3 периода
3. Определить величину экспозиционной дозы от источника ^{137}Cs активностью 10 мКи на расстоянии 0,5 м в течение рабочей недели, если керма - постоянная нуклида 21,33 $\text{аГр} \cdot \text{м}^2 / \text{с} \cdot \text{Бк}$ Ответ. 10^{-4}

ВАРИАНТ 6

1. Укажите правильное высказывание
 - а) Фундаментальные принципы радиационной безопасности: лицензирование, защита от излучения, нормирование
 - б) Фундаментальные принципы радиационной безопасности: снижение риска, оптимизация защиты, не превышение дозовых пределов
 - с) Фундаментальные принципы радиационной безопасности: обоснование, оптимизация, нормирование**
2. Определить активность пробы, содержащей изотопы рутения -103 и рутения -106 массой 32,6 и 120 г соответственно (соответственные периоды полураспада 39,3 сут и 1 год). Ответ $5,4 \cdot 10^{16}$ Бк
3. Чему будет равна мощность воздушной кермы, создаваемой точечным источником ^{56}Mn активностью $3 \cdot 10^9$ Бк на расстоянии 2 м, если его гамма – постоянная равна 2,28 $\text{Р} \cdot \text{см}^2 / \text{ч} \cdot \text{мКи}$. Ответ. 0,4 Гр/ч

ВАРИАНТ 7

1. Укажите правильное высказывание
 - а) В современной системе дозиметрических величин физическая величина – мера воздействия ионизирующего излучения на вещество**
 - б) В современной системе дозиметрических величин физическая величина – непосредственно измеряемая величина экспозиционной дозы
 - с) В современной системе дозиметрических величин физическая величина – мера риска возникновения последствий от воздействия ионизирующего излучения на человека

2. . Сколько атомов осталось после распада полония в течение 25 суток? Период полураспада $T_{1/2} = 138$ суток. Начальное количество атомов $N_0 = 6 \cdot 10^{28}$ Ответ $5,3 \cdot 10^{28}$
3. Определить экспозиционную дозу, создаваемую источником ^{74}As за 7,2 часа на расстоянии 2 м, если керма - постоянная нуклида $16,74 \text{ аГр} \cdot \text{м}^2 / \text{с} \cdot \text{Бк}$ Ответ $0,8 \cdot 10^{-10}$

Примерные задания для контрольной работы №2

ВАРИАНТ 1

1. Требуется ли создание защиты, если на рабочем месте персонала от источников ионизирующих излучений мощность эквивалентной дозы составляет 2,5 мкЗв/ч? Доза облучения распределяется в течение года равномерно. В течение года работа проводится в течение 1700 ч.
2. Рассчитать кратность ослабления интенсивности фотонного излучения ^{137}Cs ($E=662\text{кэВ}$) в гетерогенной защите, состоящей последовательно из 3,5 см железа и 3 см свинца

ВАРИАНТ 2

1. Определить, будет ли превышен годовой предел дозы, если работник в течение года 10 часов работал с закрытым источником ионизирующего излучения, создающим на рабочем месте мощность экспозиционной дозы 2 Р/час.
2. Рассчитать защиту из свинца и бетона от излучения Co-60 (1,25 МэВ), создающего дозу излучения на рабочем месте 140 мР/ч, если допустимая мощность дозы – 1,4 мР/ч

ВАРИАНТ 3

1. В ночь аварии на Чернобыльской АЭС наибольшие дозы облучения получили 600 человек из числа персонала АЭС. Эти люди подверглись сравнительно равномерному внешнему облучению всего тела. Из них у 134 человек средняя индивидуальная доза составила 3,4 Зв. Во сколько раз был превышен предел дозы?
2. Рассчитать толщину защиты водного экрана в бесконечной геометрии, ослабляющую гамма-излучение с энергией 3 МэВ точечного изотропного источника в 1000 раз.

ВАРИАНТ 4

1. Определить сколько времени можно работать, чтобы не превысить годовой предел дозы, если мощность дозы на рабочем месте составляет величину 1 Р/час.
2. Измеренная мощность дозы около источника кобальта-60 составляет 160 мкЗв/ч. Какая толщина свинца необходима, чтобы уменьшить мощность дозы до 10 мкЗв/ч?

ВАРИАНТ 5

1. Какую максимальную эквивалентную дозу за время работы мог получить оператор, если его возраст 25 лет?
2. Какая свинцовая защита необходима для источника цезия-137 с мощностью дозы 390 мкЗв/ч на расстоянии от него в 5 метрах, чтобы уменьшить мощность дозы до допустимой мощности дозы.

ВАРИАНТ 6

1. Определить мощность дозы ионизирующего излучения на расстоянии 5 м от источника излучения, если на расстоянии 1 метр она оставила величину 250 мЗв/ч.
2. Рассчитать толщину защиты из железа, ослабляющую гамма-излучение с энергией 10 МэВ и мощностью дозы 1 Гр/ч до допустимых значений

ВАРИАНТ 7

1. Определить, будет ли превышен годовой предел дозы, если работник в течение года 10 часов работал с закрытым источником ионизирующего излучения, создающим на рабочем месте мощность дозы 2 Р/час.
2. Измеренная мощность дозы около источника цезия-137 составляет 40 мкЗв/ч. Какая толщина бетона необходима, чтобы уменьшить мощность дозы до 10 мкЗв/ч?

Лист регистрации изменений

