

Учреждение образования
«Международный государственный экологический институт
имени А.Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета

УТВЕРЖДАЮ

Директор

МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ



О.И. Родькин

«25» ноября 2025

Регистрационный № УД- 143425 уч.

**ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ И ОБРАЩЕНИЕ С
РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ**

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

1-100 01 01 Ядерная и радиационная безопасность

2025 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1-100 01 01-2021 от 25.04.2022 и учебного плана учреждения образования для специальности 1-100 01 01 Ядерная и радиационная безопасность Рег.№ 134-21/уч. от 25.06.2021

СОСТАВИТЕЛЬ:

А. Н. Скибинская, старший преподаватель кафедры ядерных и медицинских технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

А. И. Тимошенко, заведующий кафедрой ядерной физики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

И. М. Микшас, ведущий инженер радиометрической лаборатории с индивидуальным дозиметрическим контролем ГУ «Республиканский центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья»

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой ядерных и медицинских технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (протокол № 11 от 20.06. 2025);

Научно-методическим советом учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета (протокол № 9 от 25 июня 2025)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цель учебной дисциплины «Ядерный топливный цикл и обращение с радиоактивными отходами» – сформировать у студентов системное понимание процессов, технологий и принципов обращения с ядерным топливом и радиоактивными отходами, а также обеспечить знания о безопасных методах обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом в рамках национальной и международной практики.

Задачи учебной дисциплины:

- ознакомиться с особенностями ядерного топлива как источника энергии, его составом, свойствами и преимуществами;
- рассмотреть основные стадии ядерного топливного цикла: добычу урана, переработку, обогащение, изготовление топлива, эксплуатацию АЭС и обращение с отработавшим ядерным топливом;
- изучить виды радиоактивных отходов, их классификацию, принципы и требования к обращению с ними;
- изучить технологические и организационные аспекты безопасного обращения с радиоактивными отходами, включая сбор, обработку, иммобилизацию, хранение и захоронение;
- ознакомиться с требованиями к транспортировке радиоактивных материалов и обеспечением радиационной безопасности при перевозках;
- рассмотреть нормативно-правовые основы и стратегические направления развития системы обращения с радиоактивными отходами в Республике Беларусь;
- сформировать навыки анализа экологических и технологических аспектов ядерного топливного цикла для обеспечения его безопасности и устойчивого развития.

Ядерный топливный цикл - это последовательность производственных процессов, начиная от добычи топлива (включая производство электроэнергии) и заканчивая удалением радиоактивных отходов. Ядерный топливный цикл подразделяется на два вида: открытый, нацеленный на захоронение отработавшего топлива и радиоактивных отходов, и закрытый, предусматривающий достаточно полную переработку отработавшего топлива и других отходов предприятий ядерной индустрии с целью выделения ценных элементов. Начальные этапы замкнутого и открытого ЯТЦ одинаковы, различия имеют место на заключительном этапе. Завершающая часть ядерного топливного цикла - деятельность, включающая транспортировку, хранение, переработку отработавшего ядерного топлива, обращение с радиоактивными отходами и их захоронение.

В рамках дисциплины также подробно рассматриваются вопросы обращения с радиоактивными отходами. Классификация радиоактивных отходов. Кондиционирование отходов, подлежащих захоронению. Концептуальные подходы к проблеме обращения с отработавшим топливом АЭС и высокоактивными долгоживущими отходами. Трансмутация

долгоживущих радионуклидов в составе высокоактивных отходов. Стратегия обращения с отработавшим топливом в Беларуси. Защитные барьеры и оценка безопасности при захоронении радиоактивных отходов. Эволюция барьеров безопасности за период хранения радиоактивных отходов. Общие принципы оценки безопасности обращения с радиоактивными отходами. Критерии выбора площадок для размещения хранилища радиоактивных отходов. Основы нормативно-правового обеспечения и государственного регулирования обращения с радиоактивными отходами. Транспортирование радиоактивных отходов и отработавшего топлива.

Учебная дисциплина относится к модулю «Атомные станции, их жизненный цикл и надежность» наряду с такой учебной дисциплиной как «Надежность технических систем и управление риском».

Для усвоения данной дисциплины необходимо изучение следующих дисциплин: «Основы радиационной безопасности», «Ядерные реакторы и атомные станции», «Радиохимия», «Радиационная химия», «Дозиметрия».

В ходе изучения учебной дисциплины студент должен освоить следующие базовые профессиональные и универсальные **компетенции**:

- использовать знания о жизненном цикле ядерного топлива, процессах хранения, сортировки, перевозки, переработки и захоронения радиоактивных отходов в профессиональной деятельности;
- развиваться и совершенствоваться в профессиональной деятельности;
- проявлять инициативу и адаптироваться к изменениям в профессиональной деятельности.

В процессе обучения студент должен приобрести не только теоретические и практические знания, умения и навыки по специальности, но и развить свой ценностно-личностный, духовный потенциал, сформировать качества патриота и гражданина, готового к активному участию в экономической, производственной и социально-культурной жизни страны.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- признаки и особенности открытого и замкнутого ядерного топливного циклов;
- классификацию радиоактивных отходов;
- основные концептуальные подходы к захоронению и переработке радиоактивных отходов;
- виды защитных барьеров и их эволюцию в процессе хранения;
- основные требования к организации перевозки радиоактивных материалов и отходов;

уметь:

- давать оценку работ по переработке, транспортировке и захоронению радиоактивных материалов и отходов;
- организовывать подготовку радиоактивных материалов к перевозке и захоронению;

иметь навык:

- владеть методами оценки эффективности защитных барьеров;
- пользоваться критериями выбора для размещения хранилища радиоактивных отходов.

Учебная дисциплина «Ядерный топливный цикл и обращение с радиоактивными отходами» преподается студентам очной формы получения высшего образования в 9 семестре.

Всего отведено 108 часов, из них 68 часов аудиторных (лекционных – 38 часов, практических – 16 часов, семинарских – 14 часов).

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

Форма получения высшего образования – очная.

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Для организации самостоятельной работы студентов по дисциплине следует использовать информационные технологии, разместить в свободном доступе комплекс учебных и учебно-методических материалов (программа, методические указания к практическим и семинарским занятиям, список рекомендуемой литературы, электронные пособия и учебники и др.).

Контроль знаний предполагает проведение письменных опросов и теста. При разработке учебной программы допустимо производить необходимый отбор и перестановку материала.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Ядерный топливный цикл

Ядерный топливный цикл. Особенности ядерного топлива как источника энергии. Открытый, замкнутый и частично-замкнутый ЯТЦ. Преимущества и недостатки ЯТЦ. Начальная стадии ЯТЦ: добыча и переработка урановой руды, аффинаж, конверсия и обогащение природного урана, изготовление уранового топлива. Эксплуатация АЭС. Заключительная стадия ЯТЦ (обращение с отработавшим ядерным топливом): хранение ОЯТ в пристанционных бассейнах выдержки, сухое хранение, транспортирование ОЯТ, основы технологии переработки облученного ядерного топлива, влияние процессов переработки, хранения и захоронения на окружающую среду. Вывод из эксплуатации объектов ЯТЦ.

Тема 2. Радиоактивные отходы. Базовые принципы и национальные системы обращения с радиоактивными отходами

Понятие радиоактивных отходов. Цель обращения с РАО. Принципы обращения с РАО. Схема обращения с РАО. Стадии обращения с радиоактивными отходами. Элементы национальной системы обращения с радиоактивными отходами. Ответственность государства и обязанности различных организаций.

Тема 3. Источники РАО и их классификация

Источники РАО: образующиеся на всех стадиях ядерного топливного цикла; отходы, не связанные с ЯТЦ. Классификация РАО. Принципы и требования классификации отходов. Системы классификации радиоактивных отходов. Классификация на концептуальном, государственном и эксплуатационном уровнях.

Тема 4. Безопасное обращение с радиоактивными отходами

Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами. Сбор, сортировка и первичная характеристика РАО. Выбор технологий обработки радиоактивных отходов, минимизация отходов. Технологии обработки и переработки твердых, жидких и газообразных РАО. Имобилизация радиоактивных отходов. Кондиционированных радиоактивных отходов.

Тема 5. Транспортировка РАО и ОЯТ

Требования и контроль при осуществлении перевозок. Требования, предъявляемые к радиоактивному материалу, упаковочным комплектам и упаковкам. Требования в отношении утверждения и административные требования. Требования по обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов. Планирование и готовность к аварийному реагированию при транспортных авариях, связанных с радиоактивными материалами. Правила по обеспечению

безопасности перевозки опасных грузов различным транспортом по территории Республики Беларусь.

Тема 6. Хранение и захоронение радиоактивных отходов

Хранение радиоактивных отходов. Захоронение радиоактивных отходов. Варианты, критерии для захоронения РАО. Критерии выбора площадок для размещения хранилища радиоактивных отходов. Оценка безопасности различных способов захоронения с использованием природных материалов. Варианты и критерии подземного хранения и захоронения радиоактивных отходов. Барьеры безопасности и их функции при захоронении радиоактивных отходов различных категорий. Эволюция барьеров безопасности за период хранения радиоактивных отходов.

Тема 7. Стратегия обращения с РАО и ОЯТ

Концептуальные подходы к проблеме обращения с отработавшим топливом АЭС. Концептуальные подходы к проблеме обращения с высокоактивными долгоживущими отходами. Трансмутация высокоактивных отходов. Основные схемы трансмутации радионуклидов в менее токсичные элементы. Альтернативные концепции обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. Основы нормативно-правового обеспечения и государственного регулирования обращения с радиоактивными отходами в Республике Беларусь. Стратегия обращения с РАО и ОЯТ в Республике Беларусь.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
(очная (дневная) форма получения высшего образования)

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Форма контроля знаний
		Лекции	Семинарские занятия	Практические занятия	Управляемая самост. работа	
1	2	3	4	5	6	9
1	Ядерный топливный цикл	8	2	–	–	1,4
2	Радиоактивные отходы. Базовые принципы и национальные системы обращения с радиоактивными отходами	2	–	2	–	1,4
3	Источники РАО и их классификация	2	2	–	–	1,2,4
4	Безопасное обращение с радиоактивными отходами	10	–	12	–	1-4
5	Транспортировка РАО и ОЯТ	6	4	–	–	1,2,4
6	Хранение и захоронение радиоактивных отходов	6	4	2	–	1,2,4
7	Стратегия обращения с РАО и ОЯТ	4	2	–	–	1,4
Итого		38	14	16		

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рекомендуемая литература

Основная

1. Белозерский, Г. Н. Радиационная экология : учеб для студ. высш. учеб. заведений / Г.Н. Белозерский. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.
2. Мархоцкий, Я. Л. Основы радиационной безопасности населения : учеб. пособие / Я. Л. Мархоцкий. - 2-е изд., стер. - Минск : Выш. шк., 2014. – 224 с.
3. Новиков Г. А. Обеспечение безопасности в области использования атомной энергии: учебник / Г. А. Новиков, О. Л. Ташлыков, С. Е. Щеклеин ; под общ. ред. профессора, доктора технических наук Г. А. Новикова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2017. — Серия «Учебник УрФУ». — 552 с. - ISBN 978-5-7996-2125-4.
4. Основы безопасного обращения и обезвреживания радиоактивных отходов : учеб. пособие / В.А. Апсэ, А.Н. Шмелев, Г.Г. Куликов [и др.]. – М. : НИЯУ МИФИ, 2019. – 111 с.
5. Учет и контроль радиоактивных веществ и отходов : учеб. пособие. – М. : МАКС Пресс, 2006. – 216 с.
6. Чистик, О. В. Радиоэкология: курс лекций / О. В. Чистик. – Минск : МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2007. – 82 с.

Дополнительная

7. Дмитриев, С.А. Технологические основы системы управления радиоактивными отходами / С.А. Дмитриев, А.С. Баринов, М. : Радон, 2007. – 375 с.
8. Классификация радиоактивных отходов № GSG-1 / Руководство по безопасности. – Вена : МАГАТЭ, 2014. – 57 с.
9. Миронов, В.П. Обращение с радиоактивными отходами: учебное пособие / В.П.Миронов, В.В.Журавков – Мн.: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2012. – 166 с.
10. Пункты приповерхностного захоронения радиоактивных отходов № SSG-29 / Нормы безопасности МАГАТЭ для защиты людей и охраны окружающей среды. – Вена : МАГАТЭ, 2024. – 130 с.
11. Скачек, М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС: учебное пособие для вузов / М.А.Скачек. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2007. – 448с.
12. Стратегия обращения с радиоактивными отходами в Республике Беларусь / О. М. Луговская [и др.] // Радиоактивные отходы . – 2023. – № 4 (25). – С. 3–6.

13. Management of Residues Containing Naturally Occurring Radioactive Material from Uranium Production and Other Activities No. SSG-60 / Specific Safety Guide. – Vienna : IAEA, 2021. – 112 с.

14. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2018 Edition No. SSR-6 (Rev. 1) Specific Safety Guide. – Vienna : IAEA, 2018. – 161 p.

Наименования и виды методических средств:

№ п / п	Наименование	Вид
1.	Учебно-информационные материалы по теме лекций и семинарских занятий	Электронный файл- *.pdf
2.	Презентации	Электронный файл- *.ppt
3.	Тестовые задания	Электронный файл- *.doc
4.	Указания к практическим работам	Электронный файл- *.doc

Формы контроля знаний:

№ п / п	Форма
1.	Проведение опроса на лекционных и практических занятиях
2.	Защита проекта
3.	Защита практических работ
4.	Проведение экзамена по курсу

Инновационные подходы и методы к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

– освоение содержания образования через решения практических задач;

метод анализа конкретных ситуаций (кейс-метод), который предполагает:

– приобретение студентом знаний и умений для решения практических задач;

– анализ ситуации, используя профессиональные знания, собственный опыт, дополнительную литературу и иные источники;

метод учебной дискуссии, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Примерный перечень тем практических занятий

Тема 2. Радиоактивные отходы. Базовые принципы и национальные системы обращения с радиоактивными отходами

Схема обращения с РАО. Стадии обращения с радиоактивными отходами.

Тема 4. Безопасное обращение с радиоактивными отходами

Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами. Сбор, сортировка и первичная характеристика РАО. Выбор технологий обработки радиоактивных отходов, минимизация отходов. Технологии обработки и переработки твердых, жидких и газообразных РАО. Имобилизация радиоактивных отходов. Кондиционированных радиоактивных отходов.

Тема 6. Хранение и захоронение радиоактивных отходов

Хранение радиоактивных отходов. Захоронение радиоактивных отходов. Варианты, критерии для захоронения РАО. Критерии выбора площадок для размещения хранилища радиоактивных отходов.

Примерный перечень тем семинарских занятий

Тема 1. Ядерный топливный цикл

Ядерный топливный цикл. Особенности ядерного топлива как источника энергии. Открытый, замкнутый и частично-замкнутый ЯТЦ. Преимущества и недостатки ЯТЦ.

Тема 3. Источники РАО и их классификация

Источники РАО: образующиеся на всех стадиях ядерного топливного цикла; отходы, не связанные с ЯТЦ. Классификация РАО. Принципы и требования классификации отходов. Системы классификации радиоактивных отходов.

Тема 5. Транспортировка РАО и ОЯТ

Требования и контроль при осуществлении перевозок. Планирование и готовность к аварийному реагированию при транспортных авариях, связанных с радиоактивными материалами. Правила по обеспечению безопасности перевозки опасных грузов различным транспортом по территории Республики Беларусь.

Тема 6. Хранение и захоронение радиоактивных отходов

Оценка безопасности различных способов захоронения с использованием природных материалов. Варианты и критерии подземного хранения и захоронения радиоактивных отходов. Барьеры безопасности и их функции при захоронении радиоактивных отходов различных категорий.

Тема 7. Стратегия обращения с РАО и ОЯТ

Трансмутация высокоактивных отходов. Основы нормативно-правового обеспечения и государственного регулирования обращения с радиоактивными отходами в Республике Беларусь. Стратегия обращения с РАО и ОЯТ в Республике Беларусь.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Согласование с другими дисциплинами специальности не требуется			

Учебную программу разработал:
старший преподаватель кафедры
ядерных и
медицинских технологий _____ А.Н.Скибинская