

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЯТЦ

О.Ю. Долматов

«06» 09 2020г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2019 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная

Разделение многокомпонентных изотопных смесей			
Направление подготовки/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии		
Образовательная программа (направленность (профиль))	Современные изотопные технологии и радиационная безопасность		
Специализация	Изотопные технологии и материалы		
Уровень образования	высшее образование - магистратура		
Курс	2	семестр	3
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	6		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции	16	
	Практические занятия	16	
	Лабораторные занятия	32	
	ВСЕГО	64	
Самостоятельная работа, ч		152	
в т.ч. отдельные виды самостоятельной работы с выделенной промежуточной аттестацией (курсовой проект, курсовая работа)		курсовая работа	
ИТОГО, ч		216	

Вид промежуточной аттестации	Экзамен, диф. зачет	Обеспечивающее подразделение	ОЯТЦ
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры Руководитель ООП Преподаватель			А.Г. Горюнов
			Л.И. Дорофеева
			А.А. Орлов

2020г.

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 5 Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
ПК(У)-1	Способен использовать фундаментальные законы в объеме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза новых идей, творческого самовыражения	И.ПК(У)-1.1	Демонстрирует способность использовать фундаментальные законы в области физики разделения изотопных и молекулярных смесей для самостоятельного комбинирования и синтеза новых идей, творческого самовыражения	ПК(У)- 1.1.B1	Владеет опытом использования фундаментальных законов в области физики разделения изотопных и молекулярных смесей для самостоятельного комбинирования и синтеза новых идей, творческого самовыражения
				ПК(У)- 1.1.U1	Умеет анализировать новые теоретические подходы и принципы дизайна материалов с заданными свойствами, использовать высокоэффективные технологии получения современных изотопных материалов
				ПК(У)- 1.1.31	Знает основные термины и определения разделительных процессов
ПК(У)-2	Способен создавать новые методы расчета современных физических установок и устройств, разрабатывать методы и перспективные технологии	И.ПК(У)-2.3	Демонстрирует способность к разработке технологий получения материалов с заданным изотопным составом	ПК(У)- 2.3.B3	Владеет методами исследования и анализа каскадов заданного профиля
				ПК(У)- 2.3.U3	Умеет применять численные методы решения системы уравнений переноса в каскадах заданного профиля
				ПК(У)- 2.3.33	Знает теорию разделительных каскадов, ее основные понятия, структуру и виды разделительных каскадов, способы

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
					их оптимизации
ПК(У)-3	Способен создавать математические и физические модели, описывающие процессы и явления в разделительных каскадах, установках разделения и тонкой очистки веществ, переработки и обезвреживания промышленных отходов	И.ПК(У)-3.2	Демонстрирует способность к созданию теоретических моделей в области физики селективных, неравновесных молекулярных процессов, физики изотопно-модифицированных материалов	ПК(У)- 3.2.В1	Владеет опытом выявлять последовательность, физико-химические характеристики превращения материалов, сущность технологических процессов и операций при исследовании экспериментальных образцов изотопномодифицированной продукции
				ПК(У)- 3.2.У2	Умеет создавать математические модели, описывающие процессы в физических системах, приборах и установках
				ПК(У)- 3.2.31	Знает теоретические основы методов разделения изотопов, тонкой очистки и переработки веществ
ПК(У)-4	Способен оценить перспективы развития ядерной отрасли, использовать её современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах	И.ПК(У) -4.1	Демонстрирует способность к применению современных достижений в области разделительных, лазерных, плазменных, установок в решении технологических задач ЯТЦ	ПК(У)- 4.1.В1	Владеет опытом расчета и оптимизации современных физических установок для разделения, анализа и переработки веществ в научных, экологических и промышленных целях с применением пакетов прикладных программ
				ПК(У)- 4.1.У1	Умеет проводить исследования в области разделения жидких и газовых смесей, получения высокочистых веществ, изотопно-модифицированных

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
					материалов
				ПК(У)- 4.1.31	Знает способы применения разделительных, лазерных, плазменных установок в решении технологических задач ЯТЦ

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина относится к вариативной части Блока 1 учебного плана образовательной программы (элективная дисциплина).

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

Планируемые результаты обучения по дисциплине		Индикатор достижения компетенции
Код	Наименование	
РД 1	Знать теорию модельных каскадов, их свойства, основные характеристики и уравнения ступени и каскада для разделения многокомпонентных изотопных смесей, стадии производства стабильных изотопов, свойства рабочих веществ, владеть методами исследования и анализа каскадов непрерывного профиля, численными методами решения системы уравнений переноса в каскадах заданного профиля.	И.ПК(У)-1.1
РД 2	Уметь проводить оптимизацию параметров каскада для разделения многокомпонентных изотопных смесей, синтезировать подходящее рабочее вещество для разделения изотопов, переводить обогащенный продукт в товарную форму, анализировать его на содержание примесей.	И.ПК(У)-3.2
РД 3	Знать теорию прямоугольно-секционированных каскадов, Q-каскадов, R-каскадов, особенности протекания нестационарных процессов, разделения многокомпонентной изотопной смеси в каскаде при наличии внутрифазного изотопного обмена для случая слабого обогащения.	И.ПК(У)-1.1
РД 4	Уметь аппроксимировать каскады непрерывного профиля прямоугольно секционированным каскадом, проводить расчет параметров каскада для разделения многокомпонентных изотопных смесей..	И.ПК(У)-2.3
РД 5	Знать основные уравнения для каскадов с немалым обогащением на ступени, численные методы решения системы уравнений переноса в каскадах заданного профиля, влияние параметров каскада на состав получаемой смеси, свойства различных модельных каскадов.	И.ПК(У)-4.1

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

4. Структура и содержание дисциплины

Основные виды учебной деятельности

Разделы дисциплины	Формируемый результат обучения по дисциплине	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.
Раздел 1. Теоретические основы разделения многокомпонентных	РД 1, РД 2	Лекции	8
		Практические занятия	8

смесей		Лабораторные занятия	12
		Самостоятельная работа	50
Раздел 2. Каскад в случае слабого обогащения	РД 3, РД 4	Лекции	4
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	12
		Самостоятельная работа	50
Раздел 3. Каскады с немалыми обогащениями на ступенях	РД 5	Лекции	4
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	8
		Самостоятельная работа	52

Содержание разделов дисциплины:

Раздел 1. Теоретические основы разделения многокомпонентных смесей

В разделе рассмотрены основные понятия и термины, используемые в процессе разделения многокомпонентных изотопных смесей, такие как разделительная ступень, основные уравнения противоточного симметричного разделительного каскада.

Темы лекций:

1. Разделительная ступень. Основные характеристики и уравнения ступени.
2. Основные уравнения симметричного противоточного каскада.
3. Каскад в случае слабого обогащения.
4. Исследование каскадов заданного профиля.

Темы практических занятий:

1. Исследование каскадов заданного профиля методом ортогональной коллокации.
2. Исследование каскадов заданного профиля методом квазилинеаризации.
3. Решение системы уравнений каскада с несмещением по относительной концентрации для выбранной пары компонентов методом Б.В. Жигаловского.
4. Аппроксимация каскадов непрерывного профиля прямоугольно-секционированным каскадом.

Названия лабораторных работ:

1. Основное технологическое оборудование для разделения многокомпонентных изотопных смесей.
2. Подготовка технологического оборудования к эксплуатации.
3. Определение давления рабочего вещества на внутренней стенке и у оси ротора. Расчет нормы заполнения технологической тары.

Раздел 2. Каскад в случае слабого обогащения

В разделе рассмотрены основные уравнения каскада для случая слабого обогащения, каскады заданного профиля, модельные каскады, анализ прямоугольно-секционированного каскада на основе модельных каскадов, Q-каскады и их свойства, R-каскады и их свойства, решение системы уравнений каскада с несмещением по относительной концентрации для выбранной пары компонентов методом Б.В.Жигаловского, R-каскад с дополнительным потоком отбора, аппроксимация каскадов непрерывного профиля прямоугольно-секционированным каскадом, нестационарные процессы в каскаде, уравнение нестационарного переноса в каскаде, некоторые особенности нестационарных процессов, переходные процессы в двойных каскадах, разделение многокомпонентной смеси изотопомодифицированных молекул в каскаде при наличии внутрифазного изотопного обмена.

Темы лекций:

5. Модельные каскады и их свойства.
6. Разделение многокомпонентной смеси изотопномодифицированных молекул в каскаде при наличии внутрифазного изотопного обмена.

Темы практических занятий:

5. «Классический» итерационный метод решения системы уравнений переноса в каскадах заданного профиля.
6. «Матричный» метод решения системы уравнений переноса в каскадах заданного профиля.

Названия лабораторных работ:

4. Расчет концентрации изотопов в потоках легкой и тяжелой фракции.
5. Расчет режима разделения многокомпонентных изотопных смесей.
6. Организация структуры разделительного производства стабильных изотопов.

Раздел 3. Каскады с немалыми обогащениями на ступенях
--

В разделе рассмотрены основные уравнения каскадов с немалым обогащением на ступени, численные методы решения системы уравнений переноса в каскадах заданного профиля, влияние параметров каскада на состав получаемой смеси, каскад с постоянными относительными коэффициентами разделения на ступенях («квазиидеальный» каскад), квазиидеальный каскад с несмешением относительных концентраций двух заданных компонентов смеси (R-каскад), оптимальный каскад с заданными концентрациями по целевому изотопу, его сравнение с R-каскадом, квазиидеальный каскад с потерями рабочего вещества на ступенях, квазиидеальный каскад с двумя питающими потоками.

Темы лекций:

7. Каскады с немалыми обогащениями на ступенях. Основные уравнения.
8. Влияние параметров каскада на состав получаемой смеси.

Темы практических занятий:

7. Метод расчета на основе приближения фактора разделения.
8. Многопараметричность разделительных задач.

Названия лабораторных работ:

7. Определение параметров Q-каскада для получения целевого изотопа.
8. Определение суммарного потока Q-каскада, его профиля и концентрации изотопов по ступеням каскада.

Тематика курсового проекта: Полный расчет ректификационной колонны.

Расчеты ректификационной колонны проводятся по индивидуальным вариантам.

Вариант № 1.

Система сероуглерод – ацетон ($\text{CS}_2 - \text{C}_3\text{H}_6\text{O}$), $P = 760$ мм рт. ст. Исходные данные: расход исходной смеси 12.3 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.90$, $x_F = 0.31$, $x_W = 0.08$; продукты разделения охладить до 25°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 924$ Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{K}$).

Вариант № 2.

Система метиловый спирт – бензол ($\text{CH}_4\text{O} - \text{C}_6\text{H}_6$), $P = 760$ мм рт. ст. Исходные данные: расход исходной смеси 3.2 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.70$, $x_F = 0.45$, $x_W = 0.14$; продукты разделения охладить до 24°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя:

$$k_{op} = 750 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Вариант № 3.

Система метиловый спирт – толуол ($\text{CH}_4\text{O} - \text{C}_7\text{H}_8$), $P = 760$ мм рт. ст. Исходные данные: расход исходной смеси 10 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.95$, $x_F = 0.48$, $x_W = 0.04$; продукты разделения охладить до 20°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 996 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$

Вариант № 4.

Система метиловый спирт – пропиловый спирт ($\text{CH}_4\text{O} - \text{C}_3\text{H}_8\text{O}$), $P = 760$ мм рт. ст. Исходные данные: расход исходной смеси 6.18 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.83$, $x_F = 0.53$, $x_W = 0.11$; продукты разделения охладить до 26°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 850 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$

Вариант № 5.

Система пропиловый спирт – уксусная кислота ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O} - \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$), $P \in [700; 710]$ мм рт. ст. Исходные данные: расход исходной смеси 7.2 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.67$, $x_F = 0.32$, $x_W = 0.06$; продукты разделения охладить до 25°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 903 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$

Вариант № 6.

Система ацетон – уксусная кислота ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O} - \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$), $P = 760$ мм рт. ст. Исходные данные: расход исходной смеси 11 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.92$, $x_F = 0.52$, $x_W = 0.12$; продукты разделения охладить до 21°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 815 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$ Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 815 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$

Вариант № 7.

Система бензол – уксусная кислота ($\text{C}_6\text{H}_6 - \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$), $P = 760$ мм рт. ст. Исходные данные: расход исходной смеси 4 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.81$, $x_F = 0.40$, $x_W = 0.08$; продукты разделения охладить до 25°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 780 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$

Вариант № 8.

Система ацетон – метиловый спирт ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O} - \text{CH}_4\text{O}$), $P = 760$ мм рт. ст. Исходные данные: расход исходной смеси 9.41 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.74$, $x_F = 0.55$, $x_W = 0.05$; продукты разделения охладить до 24°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 821 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$

Вариант № 9.

Система ацетон – этанол ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O} - \text{C}_2\text{H}_6\text{O}$), $P = 760$ мм рт. ст. Исходные данные: расход исходной смеси 19 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.84$, $x_F = 0.49$, $x_W = 0.04$; продукты разделения охладить до 25°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 999 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$

Вариант № 10.

Система ацетон – вода ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O} - \text{H}_2\text{O}$), $P = 760$ мм рт. ст. Исходные данные: расход исходной смеси 18.6 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.93$, $x_F = 0.45$, $x_W = 0.14$; продукты разделения охладить до 25°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 1580 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$

Вариант № 11.

Система ацетон – четыреххлористый углерод ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O} - \text{CCl}_4$), $P = 760$ мм рт. ст. Исходные данные: расход исходной смеси 9.48 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.95$, $x_F = 0.4$, $x_W = 0.1$; продукты разделения охладить до 25°C . Коэффициент теплопередачи куба

испарителя: $k_{op} = 915 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Вариант № 12.

Система хлороформ – бензол (CHCl_3 118– C_6H_6), $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$ Исходные данные: расход исходной смеси 64 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.93$, $x_F = 0.36$, $x_W = 0.07$; продукты разделения охладить до 25°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 940 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Вариант № 13.

Система четыреххлористый углерод – бензол (CCl_4 – C_6H_6), $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$ Исходные данные: расход исходной смеси 38 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.7$, $x_F = 0.46$, $x_W = 0.15$; продукты разделения охладить до 25°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 816 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Вариант № 14.

Система метиловый спирт – вода (CH_4O – H_2O), $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$ Исходные данные: расход исходной смеси 51.6 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.9$, $x_F = 0.3$, $x_W = 0.05$; продукты разделения охладить до 25°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 740 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Вариант № 15.

Система метиловый спирт – четыреххлористый углерод (CH_4O – CCl_4), $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$ Исходные данные: расход исходной смеси 49 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.95$, $x_F = 0.46$, $x_W = 0.1$; продукты разделения охладить до 25°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 935 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Вариант № 16.

Система четыреххлористый углерод – пропиловый спирт (CCl_4 – $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$), $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$ Исходные данные: расход исходной смеси 26.58 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.94$, $x_F = 0.35$, $x_W = 0.11$; продукты разделения охладить до 25°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 911 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Вариант № 17.

Система четыреххлористый углерод – толуол (CCl_4 – C_7H_8), $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$ Исходные данные: расход исходной смеси 35.24 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.84$, $x_F = 0.28$, $x_W = 0.17$; продукты разделения охладить до 25°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 1080 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Вариант № 18.

Система сероуглерод – четыреххлористый углерод (CS_2 – CCl_4), $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$ Исходные данные: расход исходной смеси 22.95 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.86$, $x_F = 0.4$, $x_W = 0.19$; продукты разделения охладить до 25°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 890 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Вариант № 19.

Система хлороформ – четыреххлористый углерод (CHCl_3 – CCl_4), $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$ Исходные данные: расход исходной смеси 34.68 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.94$, $x_F = 0.45$, $x_W = 0.18$; продукты разделения охладить до 25°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 723 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Вариант № 20.

Система хлороформ – уксусная кислота (CHCl_3 – $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$), $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$ Исходные данные: расход исходной смеси 54.32 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.84$, $x_F = 0.2$, $x_W = 0.05$; продукты разделения охладить до 25°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 760 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Вариант № 21.

Система хлороформ – толуол ($\text{CHCl}_3 - \text{C}_7\text{H}_8$), $P = 760$ мм рт. ст. Исходные данные: расход исходной смеси 26.87 кг/с; концентрации (мольные доли) $x_D = 0.95$, $x_F = 0.65$, $x_W = 0.25$; продукты разделения охладить до 25°C . Коэффициент теплопередачи куба испарителя: $k_{op} = 999$ Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{K}$).

5. Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины (модуля) предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Опережающая самостоятельная работа;
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Подготовка к лабораторным работам, к практическим занятиям;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям: контрольным работам, зачету;
- Поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- Перевод текстов с иностранных языков;
- Исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах;
- Анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Учебно-методическое обеспечение

Основная литература

1. Видяев Д. Г. Гидрогазодинамика разделительных процессов: учебное пособие / Д. Г. Видяев; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2010. — URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2011/m151.pdf>.
2. Теория каскадов для разделения бинарных и многокомпонентных изотопных смесей: учебное пособие / Г.А. Сулаберидзе, В.А. Палкин, В.Д. Борисевич, В.Д. Борман. — Москва: НИЯУ МИФИ, 2011. Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/75765>.
3. Баранов В.Ю. Изотопы: свойства, получение, применение: учебное пособие: В 2 т.: / В.Ю. Баранов. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — Т. 2 — 2005. Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2104>.

Дополнительная литература

1. Orlov A. A. Modeling of filling gas centrifuge cascade for nickel isotope separation by feed flow input to different stages / A. A. Orlov, A. A. Ushakov, V. P. Sovach // MATEC Web of Conferences. — Les Ulis: EDP Sciences, 2017. — Vol. 110 : Heat and Mass Transfer in the Thermal Control System of Technical and Technological Energy Equipment (HMTTSC 2017). — [01063, 4 p.]. — Title screen. — [References: 17 tit.]. — URL: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201711001063>.
2. Оптическое и лазерно-химическое разделение изотопов в атомарных парах / П.А. Бохан, В.В. Бучанов, Д.Э. Закревский [и др.]. — 2-е изд. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2017. Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/105021>.
3. Борман В.Д. Физические основы разделения изотопов в газовой центрифуге: учебное пособие для вузов / Борман В.Д., Борисевич В.Д. — М.: Издательский дом МЭИ, 2017. ЭБС "Консультант студента" — URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383010877.html>.

4. Вергун А. П. Ионообменная технология разделения и очистки веществ: учебное пособие / А. П. Вергун, В. Ф. Мышкин, А. В. Власов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) — Томск: 2010. — URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext3/m/2010/m39.pdf>.
5. Орлов А. А.. Разделение многокомпонентной изотопной смеси в процессе заполнения каскада газовых центрифуг = Separation of multicomponent isotope mixture during filling of gas centrifuge cascade / А. А. Орлов, А. А. Ушаков, В. П. Совач // Известия вузов. Ядерная энергетика. — 2019. — № 3. — [С. 75-87]. — URL: <https://nuclear-power-engineering.ru/article/2019/03/07/>.

4.2. Информационное и программное обеспечение

Internet-ресурсы (в т.ч. в среде LMS MOODLE и др. образовательные и библиотечные ресурсы):

1. <https://e.lanbook.com/>
2. <https://new.znaniium.com/>
3. <https://urait.ru/>
4. <http://www.studentlibrary.ru/>
5. www.lib.tpu.ru/
6. www.lib.tsu.ru/
7. www.elibrary.ru/
8. www.scopus.com/
9. www.wokinfo.com/russian/
10. <http://www.rosatom.ru>
11. <http://window.edu.ru/>

Лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ**):

Zoom Zoom; 7-Zip; Adobe Acrobat Reader DC; Adobe Flash Player; Amazon Corretto JRE 8; Cisco Webex Meetings; Far Manager; Google Chrome; Microsoft Office 2007 Standard Russian Academic; Notepad++; WinDjView; XnView Classic; AkelPad; Ascon KOMPAS-3D 18 Education Concurrent MCAD ECAD; Autodesk AutoCAD Mechanical 2020 Education; Autodesk Inventor Professional 2020 Education; Document Foundation LibreOffice; MathWorks MATLAB Full Suite R2017b; Mozilla Firefox ESR; Tracker Software PDF-XChange Viewer; Cisco Webex Meetings; Microsoft Office 2016 Standard Russian Academic; ownCloud Desktop Client.

7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

В учебном процессе используется следующее лабораторное оборудование для практических и лабораторных занятий:

№	Наименование специальных помещений	Наименование оборудования
1.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634028, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 2, ауд. 340 (Учебный корпус №10)	Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт.; Доска аудиторная настенная - 2 шт.; Тумба подкатная - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 48 посадочных мест.
2.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс) 634028, Томская область, г. Томск,	Компьютер - 13 шт.; Принтер - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 12 посадочных мест.

	Ленина проспект, д. 2, ауд. 242 (Учебный корпус №10)	
3.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (научная лаборатория) 634028, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 2, ауд. 239 (Учебный корпус №10)	Комплект газоаналитического оборудования (масс-спектрометр "Техмас", персональный компьютер INTEL ATOM D 410) - 1 шт.; Программно-аппаратный масс-спектрометрический комплекс - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 13 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.; Принтер - 1 шт.

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы «Современные изотопные технологии и материалы» по направлению 14.04.02 Ядерная физика и технологии, специализация «Изотопные технологии и материалы» (приема 2019 г., очная форма обучения).

Разработчик - профессор Орлов А.А.

Программа одобрена на заседании ОЯТЦ (протокол от «28» июня 2019 г. №16).

Заведующий кафедрой - руководитель отделения
на правах кафедры, д.т.н.

подпись

Горюнов А.Г.

Лист изменений рабочей программы дисциплины:

[illegible]