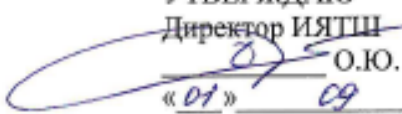


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЯТЦ

 **О.Ю. Долматов**

« 01 » 09 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2020г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная

Теория каскадов для разделения двухкомпонентных изотопных смесей				
Направление подготовки/специальность	14.03.02 – Ядерные физика и технологии			
Образовательная программа (направленность (профиль))	Ядерная физика и технологии			
Специализация	Физика кинетических явлений			
Уровень образования	высшее образование - бакалавриат			
Курс	4	семестр	7	
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	6			
Виды учебной деятельности	Временной ресурс			
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции		32	
	Практические занятия		16	
	Лабораторные занятия		40	
	ВСЕГО		88	
Самостоятельная работа, ч			128	
ИТОГО, ч			216	

Вид промежуточной аттестации	Экзамен	Обеспечивающее подразделение	ОЯТЦ
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры			А.Г. Горюнов
Руководитель ООП			П.Н. Бычков
Преподаватель			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)-2	Способен проводить математическое моделирование процессов и объектов атомной отрасли с использованием стандартных методов проектирования и анализа	И.ПК(У)-2.4	Способен создавать расчетные модели разделительных, плазменных, лазерных, мембранных, ионообменных установок	ПК(У)-2.4В1	Владеет опытом проведения расчётов разделительных, плазменных, лазерных, мембранных, ионообменных установок
				ПК(У)-2.4У1	Умеет создавать расчетные модели разделительных, плазменных, лазерных, мембранных, ионообменных установок
				ПК(У)-2.4З1	Знает основные характеристики разделительных, плазменных, лазерных, мембранных, ионообменных установок
		И.ПК(У)-2.5	Проводит математическое моделирование и поиск оптимальных параметров каскада для заданных внешних концентраций	ПК(У)-2.5В1	Владеет опытом моделирования процессов разделения изотопных и молекулярных смесей, молекулярно-селективных технологий
				ПК(У)-2.5У1	Умеет описывать нестационарные разделительный процессы с помощью дифференциальных уравнений
				ПК(У)-2.5З1	Знает программное обеспечение для расчётов каскадов, работу тренажерных систем
ПК(У)-3	Готов к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу полученных экспериментальных данных	И.ПК(У)-3.2	Обеспечивает эксплуатацию экспериментальных установок для разделения изотопов	ПК(У)-3.2В1	Владеет опытом оценивания составов произведенной изотопной продукции и их взаимосвязи с техническими характеристиками оборудования и установок
				ПК(У)-3.2У1	Умеет проводить входной контроль исходного материала для разделения, выделения и получения изотопов, определять необходимые методы анализа исходного материала для установок по разделению изотопов
				ПК(У)-3.2З1	Знает правила работы с физическим оборудованием разделительного производства, типовые правила описания проводимых исследований и методики анализа и обработки результатов экспериментов.
ПК(У)-7	Способен к расчету и проектированию деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием	И.ПК(У)-7.2	Проводит расчёт и оптимизацию каскадов в соответствии с техническим заданием	ПК(У)-7.2В1	Владеет опытом анализа нестационарных процессов и использования уравнений, описывающих данные процессы
				ПК(У)-7.2У1	Умеет проводить расчет каскада разделительных элементов в соответствии с техническим заданием
				ПК(У)-7.2З1	Знает типы разделительных каскадов, критерии эффективности и оптимизации

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
					каскадов

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 основные характеристики разделительного элемента, ступени, каскада для разделения двухкомпонентных изотопных смесей, принципы каскадирования, типы разделительных каскадов, основные параметры и уравнения противоточного симметричного каскада, критерии эффективности работы каскада.	И.ПК(У)-2.5
РД 2	Владеть навыками использования научно-технической информации отечественных и зарубежных авторов по тематике изотопного разделения.	И.ПК(У)-2.5
РД 3	Знать классификацию идеальных каскадов, основные уравнения симметричного идеального каскада для случая малого и произвольного обогащения на ступени, без учета и с учетом потерь; способы оптимизации каскада с заданной внешней концентрацией целевого изотопа, численные и аналитические методы определения внутренних параметров каскада по заданным внешним параметрам, критерии эффективности и оптимизации каскадов.	И.ПК(У)-3.2 И.ПК(У)-7.2
РД 4	Уметь выполнять обработку и анализ данных, полученных при теоретических и экспериментальных исследованиях; сравнение идеального и оптимального каскадов.	И.ПК(У)-7.2 И.ПК(У)-2.4
РД 5	Знать теорию разделения двухкомпонентных изотопных смесей в прямоугольных и прямоугольно-секционированных каскадах для случая слабого и произвольного обогащения на ступенях; методы и критерии оптимизации этих каскадов, особенности и уравнения нестационарных процессов.	И.ПК(У)-3.2
РД 6	Владеть современными компьютерными технологиями и базами данных в своей предметной области, навыками математического моделирования разделительных процессов, расчета и оптимизации каскадов различного профиля, включая модельные каскады.	И.ПК(У)-2.5 И.ПК(У)-2.4
РД 7	Знать основные уравнения идеального несимметричного каскада с малым и произвольным обогащением на ступени, прямоугольного несимметричного каскада.	И.ПК(У)-2.5

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 бинарных смесей	РД 1, РД 2	Лекции	10
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	12
		Самостоятельная работа	32
Раздел 2. Теория идеальных каскадов	РД 3, РД 4	Лекции	8
		Практические занятия	4

		Лабораторные занятия	12
		Самостоятельная работа	32
Раздел 3. Прямоугольные и прямоугольно-секционированные каскады	РД 5, РД 6	Лекции	8
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	8
		Самостоятельная работа	32
Раздел 4. Несимметричные каскады	РД 7	Лекции	6
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	8
		Самостоятельная работа	32

Содержание разделов дисциплины:

Раздел 1. Теоретические основы разделения бинарных смесей

В разделе рассмотрены основные понятия и термины, используемые в процессе разделения двухкомпонентных изотопных смесей, такие как разделительный элемент, разделительная ступень, основные параметры и уравнения ступени, разделительная способность (мощность), работа разделения, разделительный потенциал, каскад, основные принципы каскадирования, типы разделительных каскадов, основные параметры и уравнения симметричного противоточного каскада, критерии эффективности работы каскада.

Темы лекций:

1. Разделительный элемент, разделительная ступень. Основные параметры и уравнения. Разделительная способность (мощность). Работа разделения. Разделительный потенциал.
2. Основные принципы каскадирования. Типы разделительных каскадов.
3. Основные параметры симметричного противоточного каскада.
4. Основные уравнения симметричного противоточного каскада.
5. Критерии эффективности работы каскада.

Темы практических занятий:

1. Изучение описания программного обеспечения для расчета каскадов и проведение тестовых расчетов.
2. Поиск оптимальных параметров каскада для заданных внешних концентраций.

Названия лабораторных работ:

1. Устройство газовых центрифуг.
2. Подготовка к эксплуатации газовых центрифуг.
3. Проверка материала ротора на растяжение и разрыв.

Раздел 2. Теория идеальных каскадов

В разделе рассмотрены идеальный каскад для разделения бинарной изотопной смеси, основные уравнения симметричного идеального каскада, классификация идеальных каскадов, идеальный каскад с малым обогащением на ступени, идеальный каскад с одинаковым немалым коэффициентом разделения на ступенях, вопросы оптимизации каскада с заданными внешними концентрациями целевого изотопа и сравнения идеального и оптимального каскадов, а также идеальный каскад с потерями.

Темы лекций:

6. Идеальный каскад для разделения бинарной изотопной смеси. Основные уравнения симметричного идеального каскада. Классификация идеальных каскадов.

7. Идеальный каскад с малым обогащением на ступени. Идеальный каскад с одинаковым немалым коэффициентом разделения на ступенях.
8. Оптимизация каскада с заданными внешними концентрациями целевого изотопа. Сравнение идеального и оптимального каскадов.
9. Идеальный каскад с потерями.

Темы практических занятий:

3. Исследование влияния модельных коэффициентов разделительной характеристики газовой центрифуги на эффективность каскада.
4. Исследование влияния нескольких потоков питания на эффективность каскада.

Названия лабораторных работ:

4. Компоновка газовых центрифуг в технологической схеме.
5. Контроль режимов работы газовых центрифуг.
6. Расчет каскада газовых центрифуг.

Раздел 3. Прямоугольные и прямоугольно-секционированные каскады
--

В разделе рассмотрены прямоугольно-секционированные (ПСК) и прямоугольные каскады (ПК) для разделения бинарных смесей, ПСК и ПК в случае «слабого обогащения», противоточная ступень, представление разделительной колонны как прямоугольного каскада, состоящего из противоточных ступеней, вопросы оптимизации ПК и ПСК в случае слабого обогащения, ПК в случае произвольных обогащений на его ступенях, нестационарные (переходные) процессы в каскадах, дифференциальное уравнение нестационарного разделительного процесса, некоторые особенности нестационарных процессов и приближенные решения уравнения нестационарного процесса.

Темы лекций:

10. Прямоугольно-секционированные (ПСК) и прямоугольные каскады (ПК) для разделения бинарных смесей. ПСК и ПК в случае «слабого обогащения».
11. Противоточная ступень. Представление разделительной колонны как прямоугольного каскада из противоточных ступеней. Оптимизация ПК и ПСК в случае слабого обогащения.
12. ПК в случае произвольных обогащений на его ступенях. Нестационарные (переходные) процессы в каскадах.
13. Дифференциальное уравнение нестационарного разделительного процесса. Некоторые особенности нестационарных процессов. Приближенные решения уравнения нестационарного процесса.

Темы практических занятий:

5. Оптимизация дополнительного потока питания.
6. Оптимизация каскада из трех типов ступеней.

Названия лабораторных работ:

7. Структура цеха разделительного производства.
8. Газодиффузионный каскад для очистки рабочего газа от легких примесей.

Раздел 4. Несимметричные каскады

В разделе рассмотрены несимметричные разделительные каскады, принципы их компоновки, основные уравнения несимметричного каскада, идеальный несимметричный каскад с произвольным обогащением на ступени, несимметричный идеальный каскад с малым обогащением на ступени, прямоугольный несимметричный каскад.

Темы лекций:

14. Несимметричные каскады. Основные уравнения несимметричного каскада. Идеальный несимметричный каскад с произвольным обогащением на ступени.
15. Несимметричный идеальный каскад с малым обогащением на ступени.
16. Прямоугольный несимметричный каскад.

Темы практических занятий:

7. Оптимизация каскада с ограничениями по потоку отвала ступеней.
8. Оптимизация каскада с ограничениями по потоку питания ступеней.

Названия лабораторных работ:

9. Вспомогательное технологическое оборудование.
10. Механическое оборудование цеха.

Тематика курсового проекта:

Расчет газодиффузионных каскадов, состоящих из машин различных типов.

Расчет каскадов производится по исходным данным, часть которых дается по вариантам.

Исходные данные

Концентрация питания	$K_0 = 0.0072$
Концентрация отвала	$K' = 0.001$
Вторая для шести типов машин	$K' = 0.003$
Коэффициент обогащения	$\varepsilon = 0.0020$
Коэффициент потерь	$\beta_{\text{пот}} = 0.0012$

Тип машин	Производительность, G, г/с	Стоимость машин, тыс. руб.	Площадь, S, м ²
1	120	3	10
2	350	9	12
3	1000	24	15
4	2500	45	18
5	5200	90	24
6	11000	150	30

Количество рабочих	1 рабочий на 2.5 машины
Зарплата рабочего	35000 рублей в месяц
Степень сжатия компрессора	$\alpha = 5.5$
КПД компрессора	0.75
Срок амортизации машин	20 лет
Стоимость электрической энергии	5 руб/(кВт·час)
Стоимость охлаждающей воды	70 руб/м ³
Изменение температуры воды	5°C

Количество энергии, уносимое водой	92% от количества электроэнергии
Теплоёмкость воды	1 ккал/кг воды
Машинное время	$t_m = 0.5$ с
Стоимость исходного сырья	8000 руб/кг
Арендная плата за землю	100 руб/(мес $\cdot$ м ²)

Рассчитать: Идеальный каскад, КПШ, каскад из 2-х, 4-х, 6-ти типов машин для $K' = 0.001$ (6-ти типов машин ещё и для $K'=0.003$).

Провести: Расчёт экономических показателей работы каскадов. Сравнительный анализ работы каскадов по пунктам, перечисленным в тетрадах по курсовому проекту.

Каждый из рассчитываемых каскадов должен быть изображен в тетради. Все каскады необходимо изобразить в виде графика $G(N)$ на листе ватмана формата А3 (каждый каскад своим цветом). Пересекающиеся линии разных каскадов изображать пунктирной линией перемежающегося цвета.

В конце пояснительной записки приводится сводная таблица результатов расчёта, выводы по результатам выполнения расчёта.

ВАРИАНТЫ

Поток отбора, τ , г/с	Концентрация отбора, K
0.6	0.15
0.4	0.2
0.13	0.75
0.35	0.25
0.5	0.2
1.0	0.1
0.4	0.3
0.125	0.8
0.11	0.95
0.12	0.85
0.26	0.4
0.115	0.9
0.16	0.6
0.7	0.1
0.3	0.25
0.14	0.7
0.5	0.3

0.11	0.65
0.15	0.6
0.3	0.45
0.45	0.3
0.85	0.1

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. Баранов В.Ю. Изотопы: свойства, получение, применение: учебное пособие: В 2 т.: / В.Ю. Баранов. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — Т. 2 — 2005. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210>
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. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/75765>
3. Орлов А. А. Разделение изотопов урана: учебное пособие для вузов / А. А. Орлов, А. В. Абрамов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2010. — URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2011/m274.pdf>.

Дополнительная литература:

1. 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. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/105021>
2. 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. — Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. — URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383010877.html>
3. Вергун А.П. Ионнообменная 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>.

4. 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>

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.znaniy.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**):

7-Zip; Adobe Acrobat Reader DC; Adobe Flash Player; AkelPad; Cisco Webex Meetings; Far Manager; Google Chrome; Microsoft Office 2016 Standard Russian Academic; Mozilla Firefox ESR; Notepad++; Tracker Software PDF-XChange Viewer; WinDjView; XnView Classic; Zoom Zoom; ownCloud Desktop Client; Amazon Corretto JRE 8; Microsoft Office 2007 Standard Russian Academic; 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.

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 (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.
2.	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. 313 (Учебный корпус №10)	Комплект учебной мебели на 40 посадочных мест; Тумба подкатная - 1 шт.; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 2 шт.
3.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового	Комплект учебной мебели на 12 посадочных мест; Компьютер - 13 шт.; Принтер - 1 шт.

	проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс) 634028, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 2, ауд. 242 (Учебный корпус №10)	
--	--	--

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 14.04.02 – Ядерные физика и технологии, специализация – Физика кинетических явлений (приема 2020г., очная форма обучения).

Разработчик - профессор Орлов А.А.

Программа одобрена на заседании ОЯТЦ (протокол от 01.09.2020 г. № 29-д).

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



Горюнов А.Г.

подпись