

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический уни-  
верситет»  
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по УР  
Бурмистров А.В.

« 1. » \_\_\_\_\_ 2019 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

По дисциплине Процессы и аппараты очистки газовых выбросов  
Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
Профиль Энергетика теплотехнологий  
Квалификация выпускника бакалавр  
Форма обучения очное  
Институт, факультет ИХНМ, МФ  
Кафедра-разработчик рабочей программы ТОТ  
Курс, семестр 4 курс, 7 семестр

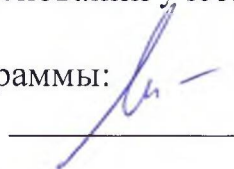
	Часы	Зачетные единицы
Лекции	36	1
Практические занятия	18	0,5
Лабораторные занятия	36	1
Самостоятельная работа	90	2,5
Форма аттестации	экзамен (36)	1
Всего	216	6

Казань, 2019 г.

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования ( №143 от 28.02.2018 г.) по направлению 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника на основании учебного плана для набора обучающихся 2019 г..

Разработчик программы:

доцент



Гильмутдинов И.И.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ТОТ, протокол от 27 июня 2019 г. № 14

Зав. кафедрой, профессор



Гумеров Ф.М.

**УТВЕРЖДЕНО**

Начальник УМЦ, доцент



Китаева Л.А.

### ***1. Цели освоения дисциплины***

Целью освоения дисциплины «Процессы и аппараты очистки газовых выбросов» является:

- а) Изучение новых основ создания перспективных энергосберегающих и экологически безопасных технологических процессов;
- б) Изучение теоретических основ сверхкритических флюидных технологий;
- в) Изучение примеров промышленной реализации сверхкритических флюидных технологий.

### ***2. Место дисциплины (модуля) в структуре основной образовательной программы***

Дисциплина «Процессы и аппараты очистки газовых выбросов» относится к части ООП формируемой участниками образовательных отношений, и формирует у бакалавров по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» набор специальных знаний и компетенций.

Для успешного освоения дисциплины «Процессы и аппараты очистки газовых выбросов» по направлению подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника» должен освоить материал предшествующих дисциплин:

- а). Физика;
- б) Химия;
- в) Техническая термодинамика;
- г) Гидравлика;

Знания, полученные при изучении дисциплины «Процессы и аппараты очистки газовых выбросов» могут быть использованы при прохождении практик и при выполнении выпускных квалификационных работ по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

### ***3. Компетенции и индикаторы достижения компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины***

Компетенция:

ПК-3 Способность к проведению работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований

Индикаторы достижения компетенций:

ПК-3.1. Знает методы и средства планирования и организации исследований и разработок

ПК-3.2. Умеет анализировать, сравнивать методы и процессы научных исследовательских работ с применением современных инновационных технологий

ПК-3.3. Владеет навыками обобщения информации и обработки результатов исследований, применяет различные критерии согласия для проверки гипотез

Компетенция:

ПК-4 Способность к выполнению научно-исследовательских работ и управлению результатами проведенных исследований

Индикаторы достижения компетенций:

ПК-4.1. Знает современные информационные технологии для проведения, контроля полученных результатов и оценки внедрения исследований и разработок

ПК-4.2. Умеет использовать современные технологии для проведения научно-исследовательских работ и внедрения на производство

ПК-4.3. Владеет навыками оптимизации объектов исследования, способен принимать решения и делать выводы относительно экспериментальных данных и условий их получения

### **В результате освоения дисциплины обучающийся должен**

Знать:

а) понятия: суб- и сверхкритические флюиды; основы энергосберегающего и экологически безопасного характера процессов; виды процессов принципы выбора экстрагентов и растворителей; выбор режимных параметров осуществления процессов; типы циклов; возможности применения в различных отраслях промышленности.

б) методы и средства планирования и организации исследований и разработок;

в) свойств суб- и сверхкритических флюидов;

г) перечень процессов и циклов по которым они осуществляются на примере различных отраслей промышленности.

д) современные информационные технологии для проведения, контроля полученных результатов и оценки внедрения исследований и разработок

2) Уметь:

а) анализировать, сравнивать методы и процессы научных исследовательских работ с применением современных инновационных технологий.

б) использовать современные технологии для проведения научно-исследовательских работ и внедрения на производство

в) сформулировать подходы к установлению режимных параметров осуществ-

ления процессов, включая проведение экспериментальных исследований растворимости веществ в суб- и сверхкритических флюидных растворителях.

г) составлять актуальную нормативную документацию в для процессов с применением сверхкритических флюидов

д) организовать сбор и изучение научно-технической информации по теме исследований и разработок с применением сверхкритических флюидов.

е) оформлять результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

ж) проводить анализ результатов экспериментов и наблюдений

з) контролировать правильность результатов, полученных работниками, находящимися в подчинении

3) Владеть:

а) навыками оптимизации объектов исследования, способен принимать решения и делать выводы относительно экспериментальных данных и условий их получения;

б) навыками обобщения информации и обработки результатов исследований, применяет различные критерии согласия для проверки гипотез;

в) представлениями о возможных промышленных применениях сверхкритических флюидных технологий в различных отраслях промышленности.

г) навыками разработок планов и методических программ проведения исследований в процессах с применением сверхкритических флюидов.

**4. Структура и содержание дисциплины Процессы и аппараты очистки газовых выбросов**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц, 252 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы (в часах)				Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации по разделам
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС	
1	Фазовые переходы и критические явления в простых жид-костях	7	6	3	8	-	<i>Прием лабораторных работ, решение задач</i>
2	Теории критических явлений	7	4	2	8	20	<i>Прием лабораторных работ, решение задач</i>
3	Элементы теории, используемые в расчетах фазовых равновесий	7	6	3	4	20	<i>Прием лабораторных работ, решение задач</i>
4	Суб- и сверхкритические флюидные экстрагенты и растворители	7	8	4	8	20	<i>Контрольная работа, прием лабораторных работ, решение задач</i>
5	Принципы суб- и сверхкритических флюидных технологий.	7	8	4	8	-	<i>Прием лабораторных работ, решение задач</i>
6	Суб- и сверхкритические флюидные технологии по отраслям промышленности	7	4	2	-	30	<i>Тестирование, реферат, прием лабораторных работ, решение задач</i>

ИТОГО	36	18	36	90	Экзамен (36 ч.)
-------	----	----	----	----	-----------------

**5. Содержание лекционных занятий по темам с указанием формируемых компетенций**

№	Раздел дисциплины	Часы	Тема лекционного занятия	Краткое содержание	Индикаторы достижения компетенции
1	Фазовые переходы и критические явления в простых жидкостях	6	<b>Тема 1.</b> Фазовые переходы и критические явления в простых жидкостях.	Предмет курса. Энерго- и ресурсосбережение и экологическая безопасность тех- логических процессов. Новые физические основы создания энергосберегающих и экологически безопасных процессов. Природа критического состояния. Термодинамика критического состояния. Фазовые диаграммы. Критическая опалесценция и гравитационный эффект. Фазовые переходы I и II родов. Аналогия между критической точкой жидкости и другими типами фазовых переходов. Методы определения критических параметров однокомпонентных систем.	ПК-3.1, ПК-3.2
2	Теории критических явлений	4	<b>Тема 2.</b> Теории критических явлений.	Классические теории критических явлений. Классические теории критических явлений. Теория Ван-дер-Ваальса фазовых переходов «жидкость-газ». Парная корреляционная функция в теории Орнштейна-Цернике. Модели для фазовых переходов в жидкостях. Теория Ландау. Роль флуктуации и область применимости классической теории. Современные представления о природе критических явлений. Критические показатели и	ПК-3.1, ПК-3.2

				<p>гипотеза однородности термодинамических величин. Гипотеза масштабной инвариантности. Универсальность критических показателей. Масштабное уравнение состояния. Динамический скейлинг. Критические показатели и критические амплитуды по результатам экспериментальных исследований. Изохорная и изобарная теплоемкости. Кривая сосуществования и критическая изотерма. Изотермическая сжимаемость и корреляционная функция. Скорость звука. Температуропроводность и вязкость. Идеальная, избыточная, регулярная и сингулярная теплопроводности. Масштабная функция теплопроводности. Изоморфизм критических явлений. Критические явления в растворах.</p>	
3	Элементы теории, используемые в расчетах фазовых равновесий	6	<b>Тема 3.</b> Элементы теории, используемые в расчетах фазовых равновесий.	<p>Элементы теории, используемые в расчетах фазовых равновесий. Химический потенциал компонента раствора. Общие условия фазового равновесия. Зависимость химического потенциала компонента от давления. Зависимость химического потенциала (летучести) компонента от состава. Принцип соответственных состояний и его использование для нахождения химического потенциала компоненты смеси. Общие принципы решения задач фазовых равновесий жидкость - газ. Константы фазовых равновесий. Типы фазовых равновесий. Расчет критических параметров многокомпонентных</p>	ПК-3.3, ПК-4.1



				систем.	
4	Суб- и сверхкритические флюидные экстрагенты и растворители.	8	<b>Тема 4.</b> Суб- и сверхкритические флюидные экстрагенты и растворители.	<p>Свойства суб- и сверхкритических флюидных экстрагентов и растворителей.</p> <p>Теплофизические свойства веществ в сверхкритическом флюидном состоянии. Растворимость веществ в сверхкритических флюидах. Сопоставительный анализ свойств сверхкритических флюидных экстрагентов и жидких органических растворителей. Обоснование энергосберегающего характера сверхкритических флюидных технологий.</p> <p>Методы исследования и описания растворимости веществ в сверхкритических флюидных растворителях.</p> <p>Экспериментальные методы исследования растворимости веществ в сверхкритических флюидных растворителях. Эмпирические методы описания растворимости. Теоретические методы описания растворимости. Силы межмолекулярного взаимодействия в разбавленных флюидных растворах. Повышение растворяющей способности сверхкритических флюидов путем добавления соразтворителей и модификаторов. Распределение веществ и синергетический эффект в системах жидкость – сверхкритический флюид. Работа, теплота и изменение объема в процессах растворения и выделения веществ.</p>	ПК-4.1, ПК-4.2
5	Принципы суб- и сверхкритических	8	Принципы суб- и сверхкритических	Суб- и сверхкритические экстракционные процессы.	ПК-3.3, ПК-4.2

	флюидных технологий		ческих флюидных технологий.	<p>Выбор растворителя (экстрагента). Критерии подбора соразтворителей. Установление термодинамической области осуществления процесса экстрагирования. Суб- и сверх-критические экстракционные циклы: изотермический, изобарический, компрессорный, насосный. Эксергетический анализ суб- и сверх-критических экстракционных циклов. Пути технико-экономической оптимизации суб- и сверх-критических экстракционных циклов: использование тепловых насосов; сочетание с процессами адсорбции, мембранной сепарации, обратного осмоса, дистилляции и другими.</p> <p>Принципы иных флюидных процессов.</p> <p>Физические основы микронизации материалов посредством расширения сверхкритического раствора (RESS). Физические основы микронизации материалов по методу сверхкритического антирастворителя. Физические основы очистки и пропитки пористых структур с использованием сверхкритических флюидных растворителей. Сушка по сверхкритическому пути. Сверхкритические флюиды как среды для проведения химических реакций.</p> <p>Классификация промышленных установок и требования к их изготовлению</p>	
6	Суб- и сверхкритические флюидные технологии по отраслям	4	<b>Тема 6.</b> Суб- и сверхкритические	Суб- и сверхкритические флюидные техно-	ПК-3.2, ПК-4.3

	промышленности		<p>флюидные технологии по отраслям промышленности.</p>	<p>логии в пищевой, парфюмерной и фармацевтической отраслях промышленности.</p> <p>Декофеннизация кофе и чая, деникотинизация табака; выделение эфирных масел; вкусовых и ароматических экстрактов растительного сырья, включая экстракты лекарственных растений. Очистка фармакопейных субстанций от остаточного растворителя и их микронизация.</p> <p>CO<sub>2</sub> – увеличение нефтеотдачи пластов.</p> <p>Первичный, вторичный и третичный методы нефтедобычи. Методы увеличения нефтеотдачи пластов в рамках третичной нефтедобычи. Физико-химическая природа CO<sub>2</sub> - увеличения нефтеотдачи пластов.</p> <p>Суб- и сверхкритические флюиды в процессах переработки углеводородного сырья.</p> <p>Ожижение угля; переработка нефтешламов; очистка тяжелых нефтяных фракций от асфальтенов и смол.</p> <p>Суб- и сверхкритические флюиды в химии и нефтехимии.</p> <p>Разделение смесей органических соединений. Концентрирование водных растворов спиртов. Регенерация адсорбентов, катализаторов, фильтров. Производство порошковых покрытий. Производство кремниевых аэрогелей. Выделение металлов из жидких и твердо-дисперсных сред.</p>	
--	----------------	--	--	---	--

				Суб- и сверхкритические флюиды в полимерной химии.	
--	--	--	--	--	--

## 6. Содержание практических занятий

Сформулировать цель проведения практических занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Часы	Тема практического занятия	Индикаторы достижения компетенции
1	Фазовые переходы и критические явления в простых жидкостях	3	<b>Тема 1.</b> Расчет критических параметров диоксида углерода по методу Лидерсена. Определение критических индексов кривой сосуществования, критической изотермы, изотермической сжимаемости на основе экспериментальных данных, полученных при реализации опыта Эндрюса. Проверка соотношения Рашбрука.	ПК-3.1, ПК-3.3
2	Теории критических явлений	2	<b>Тема 2</b> Расчет критических параметров веществ в рамках Теории Ван-дер Вальса. Расчет масштабной функции теплопроводности аргона на основе результатов экспериментального исследования температуропроводности	ПК-3.2, ПК-4.2
3	Элементы теории, используемые в расчетах фазовых равновесий	3	<b>Тема 3</b> Установление значений параметров бинарного взаимодействия в системе «низколетучесоединение-сверхкритический диоксид углерода» на основе экспериментальных данных по растворимости и использования уравнения Пенга-Робинсона	ПК-3.3, ПК-4.1
4	Суб- и сверхкритические флюидные экстрагенты и растворители.	4	<b>Тема 4</b> Принципы расчета растворимости веществ в СКФ-растворителях в рамках статического и динамического методов исследования. Принцип установления числа циклов импрегнации	ПК-4.2, ПК-4.3

			для импрегнирования определенного количества наполнителя.	
5	Принципы суб- и сверхкритических флюидных технологий	4	<b>Тема 5</b> Принцип установления термодинамической области состояния многокомпонентной системы с участием СКФ-среды для осуществления метода SAS.	ПК-3.3, ПК-4.2
6	Суб- и сверхкритические флюидные технологии по отраслям промышленности.	2	<b>Тема 6</b> Эксергетический метод анализа эффективности СКФЭ-циклов.	ПК-3.2, ПК-4.3

### 7. Содержание лабораторных занятий

Сформулировать цель проведения лабораторных работ.

№ п/п	Раздел дисциплины	Часы	Наименование лабораторной работы	Индикаторы достижения компетенции
1	Фазовые переходы и критические явления в простых жидкостях.	8	Исследование P <sub>v</sub> диаграммы CO <sub>2</sub> для докритических, критической и сверхкритических изотерм.	ПК-3.2, ПК-3.3
2	Теория критических явлений	8	Исследование растворимости антрацена в сверхкритическом CO <sub>2</sub> с использованием статического и динамического методов	ПК-3.1, ПК-4.1
3	Элементы теории, используемых в расчётах фазовых равновесий	4	Диспергирование фармацевтических материалов методом RESS	ПК-3.3, ПК-4.2
4	Суб- и сверхкритические флюидные экстрагенты в растворители	8	Диспергирование фармацевтических материалов методом SAS/SEDS	ПК-3.1, ПК-4.3
5	Принципы суб- и сверхкритических флюидных технологий	8	Получение биодизельного топлива посредством осуществления реакции переэтерификации в СКФ условиях	ПК-3.2, ПК-4.3

### 8. Самостоятельная работа

№ п/п	Темы, выносимые на самостоятельную работу	Часы	Форма СРС	Индикаторы достижения компетенции
1	Физические эффекты в окрестности термодинамической критической точки и их природа; Особенности реализации методов исследования свойств веществ в окрестности критической точки	20	Изучение лекционного материала и рекомендуемой литературы;	ПК-3.3, ПК-4.1
2	Процессы СКФ экстракции, RESS, SAS/SEDS.	20	Составление материальных тепловых, эксергетических балансов по данным полученным на лабораторных и практических занятиях	ПК-3.2, ПК-4.2
3	Растворимость веществ в сверхкритических флюидных растворителях; Кроссоверное поведение изотерм растворимости в сверхкритической флюидной области состояния.	20	Изучение лекционного материала и рекомендуемой литературы, составления отчёта по практическим занятиям.	ПК-4.1, ПК-4.3
4	Достоинства использования сверхкритических флюидных растворителей и экстрагентов в технологических процессах различных отраслей промышленности.	30	Подготовка реферата и презентации по предложенной теме.	ПК-4.2

### **9. Использование рейтинговой системы оценки знаний**

При оценке результатов деятельности обучающихся в рамках дисциплины «Процессы и аппараты очистки газовых выбросов» используется балльно-рейтинговая система. Балльно-рейтинговая оценка формируется на основании текущего и промежуточного контроля. Максимальное и минимальное количество баллов по различным видам учебной работы описано в «Положении о балльно-рейтинговой системе оценки знаний студентов и обеспечения качества учебного процесса» ФГБОУ ВО КНИТУ.

При изучении указанной дисциплины предусматриваются виды работ, указанные в таблице

<i>Оценочные средства</i>	<i>Кол-во</i>	<i>Min, баллов</i>	<i>Max, баллов</i>
---------------------------	---------------	--------------------	--------------------

<b>Решение задач</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>13</b>
<b>Тестирование</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>16</b>
<b>Контрольная работа</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
<b>Прием лабораторных работ</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>
<b>Реферат</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>8</b>
<b>Экзамен</b>	<b>1</b>	<b>24</b>	<b>40</b>
<b>Итого:</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

## **10. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

Оценочные средства для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации обучающихся и итоговой (государственной итоговой) аттестации разрабатываются согласно положению о Фондах оценочных средств, рассматриваются как составная часть рабочей программы и оформляются отдельным документом.

## **11. Информационно-методическое обеспечение дисциплины**

### **11.1. Основная литература**

При изучении дисциплины «Процессы и аппараты очистки газовых выбросов» в качестве основных источников информации, рекомендуется использовать следующую литературу:

<b>Основные источники информации</b>	<b>Кол-во экз.</b>
1. Кузнецова, Ирина Валерьевна. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях [Учебники] : учеб. пособие / И.В. Кузнецова, И.И. Гильмутдинов ; Казанский нац. исслед. технол. ун-т ; под ред. А.Н. Сабирзянова .— Казань : Изд-во КНИТУ, 2017 .— 121, [3] с. : ил. — Библиогр.: с.118 (17 назв.) .— ISBN 978-5-7882-2125-0.	66 экз. в УНИЦ КНИТУ Электронная библиотека Online <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=560673">https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&amp;id=560673</a> Доступ по подписке КНИТУ
2. Усманов Р.А. Технологические основы получения биодизельного топлива [Учебники] : учеб. пособие / Р.А. Усманов [и др.] ; Казанский нац. исслед. технол. ун-т .— Казань : Изд-во КНИТУ, 2018 .— 78, [2] с. : ил. — Библиогр.: с.78-79 (28 назв.).	66 экз. в УНИЦ КНИТУ

### **11.2 Дополнительная литература**

В качестве дополнительных источников информации рекомендуется использовать следующую литературу:

<b>Дополнительные источники информации</b>	<b>Кол-во экз.</b>
1. Гумеров Ф.М., Сагдеев А.А., Амирханов Д.Г. Растворимость веществ в сверхкритических флюидных средах. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG. DudweilerLandstr. 99, 66123 Saarbrucken, Germany. 2016, 336 С.	3 экз. в УНИЦ
2. Мазанов С.В., Усманов Р.А., Гумеров Ф.М. Гетерогенный катализ при получении биодизельного топлива. Перезтерификация растительных масел в спиртовой среде в	3 экз.

Переэтерификация растительных масел в спиртовой среде в СБКФ и СКФ условиях. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. DudweilerLandstr. 99, 66123 Saarbrucken. Germany. 2017, 189 С.	
--	--

### ***11.3. Электронные источники информации***

При изучении дисциплины «Процессы и аппараты очистки газовых выбросов» в качестве электронных источников информации, рекомендуется использовать следующие источники:

1. Научная Электронная Библиотека (НЭБ) – Режим доступа:<http://elibrary.ru>
2. ЭБС «Юрайт» – Режим доступа:<http://www.biblio-online.ru>
3. ЭБС «IPRbooks» – Режим доступа:<http://www.iprbookshop.ru>
4. ЭБС «Лань» – Режим доступа:<http://e.lanbook.com/books/>
5. Архив журнала «Энергосбережение» -Режим доступа [http://www.abok.ru/avok\\_press/archive.php?1](http://www.abok.ru/avok_press/archive.php?1)
6. «Энергосвет» портал по энергосбережению- Режим доступа <http://www.energsovet.ru/>
7. Портал-энерго -Режим доступа <http://portal-energo.ru/>

**Согласовано:**  
**УНИЦ КНИТУ**



### ***11.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы.***

Журнал Сверхкритические флюиды «Теория и практика».  
<http://www.scf-tp.ru/index.html>

### ***12. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).***

На кафедре теоретических основ теплотехники в учебном процессе при выполнении лабораторных работ и практических занятий используется современная вычислительная техника. Компьютерный класс укомплектован необходимым количеством персональных компьютеров PC AT и программным обеспечением. В качестве материально-технического обеспечения дисциплины используются мультимедийные средства; наборы слайдов и кинофильмов; демонстрационные приборы; при необходимости – средства мониторинга и т.д.

Лицензированное программное обеспечение и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства,



мое программное обеспечение, в том числе отечественного производства, используемое в учебном процессе при освоении дисциплины «Процессы и аппараты очистки газовых выбросов»:

1. ANSYS FLUENT.
2. CHEMCAD

### ***13. Образовательные технологии***

Согласно учебному плану проведение занятий в интерактивной форме по дисциплине «Процессы и аппараты очистки газовых выбросов» не предусмотрено. Однако, возможно проведение лекционных занятий при помощи проектора в виде презентаций и слайдов.