

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

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УР
Бурмистров А.В.

« 1. » 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

По дисциплине Сверхкритические флюидные технологии
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 «Сверхкритические флюидные технологии» 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 «Сверхкритические флюидные технологии» 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 «Сверхкритические флюидные технологии» 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 «Сверхкритические флюидные технологии» 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 осуществления процессов, включая проведение экспериментальных исследований рас-

творимости 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 Сверхкритические флюидные технологии

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	-	Прием лабораторных работ, решение задач
2	Теории критических явлений	7	4	2	8	20	Прием лабораторных работ, решение задач
3	Элементы теории, используемые в расчетах фазовых равновесий	7	6	3	4	20	Прием лабораторных работ, решение задач
4	Суб- и сверхкритические флюидные экстрагенты и растворители	7	8	4	8	20	Контрольная работа, прием лабораторных работ, решение задач
5	Принципы суб- и сверхкритических флюидных технологий.	7	8	4	8	-	Прием лабораторных работ, решение задач
6	Суб- и сверхкритические флюидные технологии по отраслям промышленности	7	4	2	-	30	Тестирование, реферат, прием лабораторных работ, решение задач

	ленности						
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	Тема 1. 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	Тема 2. 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.	ПК-3.1, ПК-3.2

				Критические показатели и 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.	
3	Элементы теории, используемые в расчетах фазовых равновесий	6	Тема 3. Элементы теории, используемые в расчетах фазовых равновесий.	Элементы теории, используемые в расчётах 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 пара-	ПК-3.3, ПК-4.1

				метров многокомпонентных систем.	
4	Суб- и сверхкритические флюидные экстрагенты и растворители.	8	Тема 4. Суб- и сверхкритические флюидные экстрагенты и растворители.	Свойства суб- и сверхкритических флюидных экстрагентов и растворителей. 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. Методы исследования и описания растворимости веществ в сверхкритических флюидных растворителях. 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 сорастворителей и модификаторов. Распределение веществ и синергетический эффект в системах жидкость – сверхкритический флюид. Работа, теплота и изменение объема в процессах растворения и выделения веществ.	ПК-4.1, ПК-4.2
5	Принципы суб- и	8	Принципы суб-	Суб- и сверхкрити-	ПК-3.3,

	сверхкритических флюидных технологий		и сверхкритических флюидных технологий.	ческие экстракционные процессы. Выбор растворителя (экстрагента). Критерии подбора сорастворителей. Установление термодинамической области осуществления процесса экстрагирования. Суб- и сверх-критические экстракционные циклы: изотермический, изобарический, компрессорный, насосный. Эксергетический анализ суб- и сверхкритических экстракционных циклов. Пути технико-экономической оптимизации суб- и сверхкритических экстракционных циклов: использование тепловых насосов; сочетание с процессами адсорбции, мембранной сепарации, обратного осмоса, дистилляции и другими. Принципы иных флюидных процессов. 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. Классификация промышленных установок и требования к их изготовлению	ПК-4.2
--	--------------------------------------	--	---	--	--------

6	Суб- и сверхкритические флюидные технологии по отраслям промышленности	4	Тема 6. Суб- и сверхкритические флюидные технологии по отраслям промышленности.	Суб- и сверхкритические флюидные технологии в пищевой, парфюмерной и фармацевтической отраслях промышленности. Декофенизация 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. CO₂ – увеличение нефтеотдачи пластов. Первичный, вторичный и третичный методы нефтедобычи. Методы увеличения нефтеотдачи пластов в рамках третичной нефтедобычи. Физико-химическая природа CO₂ - увеличения нефтеотдачи пластов. Суб- и сверхкритические флюиды в процессах переработки углеводородного сырья. Ожижение угля; переработка нефтешламов; очистка тяжелых нефтяных фракций от асфальтенов и смол. Суб- и сверхкритические флюиды в химии и нефтехимии. Разделение смесей органических соединений. Концентрирование водных растворов спиртов. Регенерация адсорбентов, катализаторов, фильтров. Производство порошковых покрытий. Производство кремниевых аэрогелей. Выделение металлов	ПК-3.2, ПК-4.3
---	--	---	---	--	-------------------

				из жидких и твердо-дисперсных сред. 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	Тема 1. 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	Тема 2 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	Тема 3 Установление значений параметров бинарного взаимодействия в системе «низколетучее соединение-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	Тема 4 Принципы расчета растворимости веществ в СКФ-растворителях в рамках	ПК-4.2, ПК-4.3

			статического и динамического методов исследования. Принцип установления числа циклов импрегнации для импрегнирования определенного количества наполнителя.	
5	Принципы суб- и сверхкритических флюидных технологий	4	Тема 5 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	Тема 6 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 Pv диаграммы CO ₂ для докритических, критической и сверхкритических изотерм.	ПК-3.2, ПК-3.3
2	Теория критических явлений	8	Исследование растворимости антрацена в сверхкритическом CO ₂ 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 «Сверхкритические флюидные технологии» 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

Оценочные средства	Кол-во	Min, баллов	Max, баллов
Решение задач	6	10	13
Тестирование	1	10	16
Контрольная работа	1	6	8
Прием лабораторных работ	5	10	15
Реферат	1	0	8
Экзамен	1	24	40
Итого:		60	100

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 «Сверхкритические флюидные технологии» в качестве основных источников информации, рекомендуется использовать следующую литературу:

Основные источники информации	Кол-во экз.
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
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:

Дополнительные источники информации	Кол-во экз.
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 Saarbrücken, Germany. 2016, 336 С.	3 экз. в УНИЦ
2. Мазанов С.В., Усманов Р.А., Гумеров Ф.М. Гетерогенный катализ при получении биодизельного топлива.	3 экз.

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

11.3. Электронные источники информации

При изучении дисциплины «Сверхкритические флюидные технологии» 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
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,

используемое в учебном процессе при освоении дисциплины «Сверхкритические флюидные технологии»:

1. ANSYS FLUENT.

2. CHEMCAD

13. Образовательные технологии

Согласно учебному плану проведение занятий в интерактивной форме по дисциплине «Сверхкритические флюидные технологии» не предусмотрено. Однако, возможно проведение лекционных занятий при помощи проектора в виде презентаций и слайдов.