

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИММ

УТВЕРЖДАЮ /Н.П. Сютлов/  
(Ф.И.О. декана (директора института))

02.02.2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Б.1.2.13 Тепло- и массообменные процессы и аппараты технологических систем

*(код и наименование дисциплины по учебному плану)*

Направление подготовки  
(специальность)

15.03.02 Технологические машины и оборудование

Квалификация выпускника

Бакалавр

*(бакалавр/магистр/специалист)*

Направленность

Оборудование нефтегазопереработки

Курс 3  
Семестр 5, 6

**Распределение учебного времени**

Трудоемкость по учебному плану	252 / 7	часов/зачетных единиц
Лекции	34	часов
Лабораторные работы	-	часов
Практические занятия	68	часов
Иная контактная работа	-	часов
Всего контактной работы (без учета экз.)	102	часов
Контактная работа по экзамену	6	часов
Курсовой проект (работа)	6	семестр
Самостоятельная работа обучающихся (без учета экз.)	114	часов
Самостоятельная работа по подготовке к экзамену	30	часов
Экзамен	6	семестр
Зачет	5	семестр
БРК, ДЗ	-	семестр

(год)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО направления подготовки (специальности) 15.03.02 Технологические машины и оборудование

Программу составили:

старший преподаватель	ТТМ	СОГЛАСОВАНО	А.М. Кайдаков
(должность)	(кафедра)		(И.О. Фамилия)

РАССМОТРЕНА и ОДОБРЕНА на заседании кафедры, за которой закреплена дисциплина  
Кафедра транспортно-технологических машин

		(наименование кафедры)	
01.02.2022	протокол №	7	
(дата)			
Заведующий кафедрой	СОГЛАСОВАНО	А.И. Павлов	
		(И.О. Фамилия)	

Рабочая программа СОГЛАСОВАНА с факультетом (институтом), выпускающей(ими) кафедрой(ами).

СООТВЕТСТВУЕТ действующей ОП.

Заведующий кафедрой	СОГЛАСОВАНО	А.И. Павлов
		(И.О. Фамилия)

Председатель методической комиссии факультета (института), в который входит выпускающая кафедра

СОГЛАСОВАНО	А.А. Медяков
	(И.О. Фамилия)

Эксперт(ы): Макаров Д.Е., ведущий инженер-конструктор АО «Марийский машиностроительный завод»

Рабочая программа проверена и зарегистрирована в УМЦ 07.02.2022 г.

Специалист учебно-методического центра СОГЛАСОВАНО /Т.А. Смирнова/

## Раздел 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является достижение планируемых результатов обучения, соответствующих установленным в ОПОП индикаторам достижения компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения
1. ПК-1 Способность применять знания по технологии и оборудованию нефтегазопереработки	ПК-1.1 Применяет знания технологии нефтегазопереработки, физические, физико-химические и химические основы технологических процессов; основного и вспомогательного оборудования, контрольных приборов и автоматики, принципов их работы и правил технической эксплуатации; технологических схем переработки нефти и газа; инструкций и правил промышленной безопасности, по охране труда и пожаробезопасности; основных технологических процессов и режимов производства, видов применяемого оборудования и правил его эксплуатации	<b>знания:</b> Знает: технологии нефтегазопереработки, физические, физико-химические и химические основы технологических процессов; основного и вспомогательного оборудования, контрольных приборов и автоматики, принципов их работы и правил технической эксплуатации; технологические схемы переработки нефти и газа; инструкции и правила промышленной безопасности, охраны труда и пожаробезопасности; основные технологические процессы и режимы производства, виды применяемого оборудования и правила его эксплуатации <b>умения:</b> Умеет: применять технологии нефтегазопереработки, технологические схемы переработки нефти и газа <b>навыки:</b> Владеет: навыками технической эксплуатации основного и вспомогательного оборудования, контрольных приборов и автоматики
2. ПК-2 Способен выполнять работы по проектированию технологического оборудования	ПК-2.1 Контролирует выполнение требований технологического регламента при проведении технологического процесса; анализирует и разрабатывает проектную и рабочую техническую документацию, оформляет проектно-конструкторские	<b>знания:</b> Знает: требования технологического регламента при проведении технологического процесса; <b>умения:</b> Умеет: контролировать выполнение требований технологического регламента при проведении технологического процесса; анализировать и разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформлять проектно-конструкторские работы <b>навыки:</b> Владеет: навыками выполнения работ по проектированию технологического оборудования

## Раздел 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина относится к элективным дисциплинам (модулям) ОПОП.

Дисциплина является элективной

Для продолжения формирования заявленных компетенций необходимы знания предшествующих дисциплин: Химия и технология нефти и газа (ПК-1), Основы нефтегазового дела (ПК-1), Основы проектирования (ПК-2), Метрология, стандартизация и сертификация (ПК-2), Детали машин (ПК-2)

Изучаемая дисциплина является основой для продолжения формирования указанных компетенций в следующих дисциплинах: Процессы и аппараты нефтегазопереработки (ПК-1), Транспорт и хранение продуктов нефтегазопереработки (ПК-1), Конструкции и прочность машинного оборудования (ПК-2), Технологическое оборудование в отрасли (ПК-2), Основы конструирования и расчета технологического оборудования (ПК-2); государственной итоговой аттестации в форме: Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы (ПК-1), Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы (ПК-2)

## Раздел 3. ОПИСАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Для формирования заявленных компетенций используются методологические технологии, реализующие деятельностный, личностно-ориентированный, практико-ориентированный подходы.

Основными стратегическими технологиями являются: лекционные занятия, практические занятия

На достижение конкретных целей обучения направлены применяемые тактические технологии: задания, классическая лекция

## Раздел 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5 семестр

Виды и темы занятий	Количество часов	Формируемые компетенции
<b>1. Основы теории массообмена</b>	<b>54</b>	ПК-1, ПК-2
Лекция. 1.1. Основные понятия и законы термодинамики газов	2	
Практическое занятие. 1.2. Массообменные процессы. Основные понятия	2	
Лекция. 1.2. Основные законы массообмена	2	
Практическое занятие. 1.3. Основное уравнение массообмена	2	
Лекция. 1.4. Средняя движущая сила диффузионного процесса	2	
Лекция. 1.5. Сущность процессов перегонки	2	
Практическое занятие. 1.6. Однократное испарение (конденсация)	4	
Практическое занятие. 1.7. Многократное испарение и многократная конденсация	4	
Лекция. 1.8. Ректификация	2	
Практическое занятие. 1.9. Виды ректификационных колонн (РК)	2	
Лекция. 1.10. Общее представление о ректификационных колоннах и контактных устройствах	2	
Практическое занятие. 1.11. Уравнение рабочей линии для	2	

укрепляющей колонны		
Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение РГР		
Классификация массообменных процессов в нефтегазопереработке.		
Сущность процессов перегонки нефти.		
Определение фракционного состава нефти.		
Устройство и действие ректификационной колонны.	26	
<b>2.Массообменные процессы</b>	<b>54</b>	ПК-1, ПК-2
Лекция. 2.1.Абсорбция	2	
Практическое занятие. 2.2.Материальный баланс абсорбера. Схемы абсорбционных установок	4	
Лекция. 2.3.Адсорбция	2	
Практическое занятие. 2.4.Конструкция адсорбционных установок	4	
Лекция. 2.5.Экстракция	2	
Практическое занятие. 2.6.Схемы процесса экстракции	2	
Практическое занятие. 2.7.Конструкции экстракционных аппаратов	2	
Практическое занятие. 2.8.Сушка. Основные сведения о процессе	2	
Практическое занятие. 2.9.Материальный и тепловой балансы процесса .	2	
Практическое занятие. 2.10.Конструкции сушильных аппаратов	2	
Практическое занятие. 2.11.Кристаллизация. Конструкции аппаратов	2	
Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение Конструкции вакуумных колонн.		
Виды, характеристики насадок.		
Пленочные колонны.	28	
Иная контактная работа: дифференцированный зачет (БРК)	0	

### 6 семестр

Виды и темы занятий	Количество часов	Формируемые компетенции
<b>3. Теплообменные процессы</b>	<b>72</b>	ПК-1, ПК-2
Лекция. 3.1. Виды переноса тепла	2	
Практическое занятие. 3.2.Передача тепла теплопроводностью. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье	4	
Лекция. 3.3.Основные элементы расчета теплообменной аппаратуры	2	
Практическое занятие. 3.4.Основное уравнение теплопередачи. Температурное поле и температурный градиент.	4	

Лекция. 3.5. Уравнение теплопроводности плоской стенки.	2
Практическое занятие. 3.6. Теплоотдача. Конвективный теплообмен.	4
Лекция. 3.7. Теплопередача.	2
Практическое занятие. 3.8. Конвективные теплообменники	4
Лекция. 3.9. Методы интенсификации процессов теплообмена	2
Практическое занятие. 3.10. Расчет коэффициента теплопередачи	4
Лекция. 3.11. Тепловое излучение.	2
Практическое занятие. 3.12. Рекуперативный теплообмен	4
Лекция. 3.13. Классификация теплоносителей.	2
Практическое занятие. 3.14. Расчет коэффициентов теплоотдачи	4
Лекция. 3.15. Конструкции теплообменных аппаратов.	2
Практическое занятие. 3.16. Традиционные и современные виды теплообменников.	4
Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение курсового проекта/работы	
Теплообменные аппараты для технологии сжижения природного газа.	
Оборудование для хранения и транспорта СПГ.	24
выполнение курсового проекта/работы	36
Иная контактная работа: защита курсового проекта/работы, консультации	0
Подготовка к экзамену	30
Проведение экзамена	6

## Раздел 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины (**модуля**) рекомендуется начать с ознакомления с рабочей программой, ее структурой и содержанием разделов. Учебный материал структурирован, изучение дисциплины осуществляется в тематической последовательности.

**Занятия лекционного типа** дают систематизированные знания по дисциплине (**модулю**), концентрируют внимание на наиболее сложных и важных вопросах. Во время лекционных занятий рекомендуется вести конспектирование учебного материала; обращать внимание на формулировки и категории, раскрывающие суть проблемы, явления или процесса; зафиксировать выводы и практические рекомендации. (**при наличии**)

Подготовка к **занятиям семинарского типа** включает ознакомление с планом **практического** занятия; работу с конспектом лекций, выполнение домашнего задания, работу с учебной и учебно-методической литературой, научными изданиями и электронными образовательными ресурсами, рекомендованными рабочей программой дисциплины (**модуля**).

Содержание **самостоятельной работы** определяется рабочей программой дисциплины (**модуля**), оценочными и методическими материалами, заданиями и указаниями преподавателя. Самостоятельная работа может осуществляться в аудиторной и внеаудиторной формах. Эффективным средством осуществления самостоятельной работы является электронная информационно-образовательная среда университета, которая обеспечивает доступ к образовательной программе, рабочей программе дисциплины (**модуля**), к электронным библиотечным системам, профессиональным базам данных и информационным справочным системам.

Изучение дисциплины (**модуля**) включает выполнение **курсового проекта (работы)**,

расчётно-графической

работы,

Периодичность проведения, формы текущего контроля успеваемости, система оценивания хода освоения дисциплин представлены в рабочей программе. Формой промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) является зачет, экзамен; по курсовому проекту (работе) является дифференцированный зачет.

## Раздел 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Учебно-методическое обеспечение

№№ п/п	Список используемой литературы	Количество экземпляров печатных изданий, имеющих в библиотеке, или электронный адрес издания (ресурса) в сети Интернет
УЧЕБНЫЕ, УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ ИЗДАНИЯ		
1.	Техническая термодинамика [Текст] : [Учебник для машиностр. спец. вузов / В.И. Крутов, С.И. Исаев, И.А. Кожин и др.]; Под ред. В.И. Крутова. М.: Высшая школа, 1991. - 382 с. ISBN 5-06-002045-2. Экземпляры: всего 3.	3
2.	Сборник задач по технической термодинамике [Текст] : учеб. пособие для студентов вузов по направлениям "Теплоэнергетика" и "Техн. физика" / Т. Н. Андрианова, Б. В. Дампов, В. Н. Зубарев и др. М.: Изд-во МЭИ, 2000. - 351 с. ISBN 5-7046-0634-2. Экземпляры: всего 20.	20
3.	Хлебников, Валерий Алексеевич. Техническая термодинамика [Текст] : лаб. практикум / В. А. Хлебников, А. В. Маряшев. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. - 114 с. Экземпляры: всего 42.	42
4.	Блох, Аркадий Григорьевич. Теплообмен излучением [Текст] : справочник / А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков. М.: Энергоатомиздат, 1991. - 431 с. ISBN 5-283-00118-0. Экземпляры: всего 9.	9
5.	Михеев, Михаил Александрович. Основы теплопередачи [Текст] : учебное пособие / М. А. Михеев, И. М. Михеева. Минск: Высшая школа, 2010. - 318, [1] с. Экземпляры: всего 20.	20
6.	Егошин, Евгений Валерьевич. Перенос энергии и массы, основы теплотехники и аэрогидродинамики [Текст] : учебное пособие : [для студентов дневной и заочной форм обучения направления 150600 "Материаловедение и технология новых материалов" и других направлений, изучающих дисциплины "Теплотехника", "Гидравлика" и "Механика жидкости и газа"] / Е. В. Егошин; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО "Поволж. гос. технол. ун-т". Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. - 95 с. ISBN 978-5-8158-1246-8. Экземпляры: всего 23.	23
7.	Кудинов, Василий Александрович. Техническая термодинамика и теплопередача [Текст] : учебник для академического бакалавриата / В. А. Кудинов, Э. М.	48

	Карташов, Е. В. Стефанюк. 3-е изд., испр. и доп. Москва: Юрайт, 2015. - 566 с. ISBN 978-5-9916-4017-6. Экземпляры: всего 48.	
8.	Лебедев, В. А. Основы энергетики [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. А. Лебедев, В. М. Пискунов. Санкт-Петербург: Лань, 2023. - 140 с. ISBN 978-5-507-47056-3.	<a href="https://e.lanbook.com/book/323090">https://e.lanbook.com/book/323090</a>
ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ		
1.	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>
2.	Научная электронная библиотека «Киберленинка»	<a href="http://cyberleninka.ru">http://cyberleninka.ru</a>
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ		
1.	Справочно-правовая система Консультант+	<a href="http://www.consultant.ru">http://www.consultant.ru</a>
2.	Информационно-правовой портал Гарант	<a href="http://www.garant.ru">http://www.garant.ru</a>
3.	Профессиональные справочные системы Техэксперт	<a href="http://www.cntd.ru">http://www.cntd.ru</a>

## 6.2. Материально-техническая база и программное обеспечение

№№ п/п	Аудитории для проведения учебных занятий, самостоятельной работы и проведения государственной итоговой аттестации	Перечень основного оборудования	Программное обеспечение
1.	203 (II)	Доска аудиторная 1000*1500 (1), Колонки SVEN 2.0 STREAM Mega R (1), Мультимедийный проектор Hitachi CP-X400 (1), Проц.блок (+Монитор 19" LG ) Aquarius Elt DF 1800 (1), Экран настенный Rollifix Premium 240*240см (1), Комплект учебной мебели (1)	Microsoft Windows Enterprise, Справочная правовая система "Консультант Плюс", Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web, Комплект ГАРАНТ-Мастер, Microsoft Access, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio Enterprise, Комплект ПО для решения основных пользовательских задач

## Раздел 7. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ/ ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Критерии оценивания индикаторов достижения компетенций направлены на:

- усвоение теоретического материала (объем знаний, глубина усвоения), предусмотренного рабочей программой;
- умение излагать материал (четкость, грамотность изложения материала, точность и полнота воспроизведения учебного материала);
- умение применять теоретические знания при решении практических заданий.

Шкала оценивания представлена ниже.



Уровень сформированности элементов компетенции	Критерии оценивания	Шкала оценивания
Пороговый уровень	Обучающийся имеет знания основного материала, проявляет умение логично его излагать, но может допускать неточности в изложении материала, недостаточно правильные формулировки, испытывает затруднения в выполнении практических заданий.	удовлетворительно
Продвинутый уровень	Обучающийся твердо знает программный материал, излагает его грамотно и по существу, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения	хорошо
Высокий уровень	Обучающийся глубоко и прочно усвоил программный материал, грамотно и логически стройно его излагает, дает исчерпывающие ответы на поставленные вопросы. В ответе тесно увязывается теория с практикой, при этом обучающийся не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, показывает знакомство с монографической литературой, периодическими изданиями, правильно обосновывает принятые решения, свободно владеет разносторонними навыками, приемами выполнения практических работ	отлично

### 7.1. Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценивание хода освоения дисциплины (модуля) и производится с применением технологии рейтингового контроля в соответствии с технологической картой дисциплины. Порядок составления технологической карты и алгоритм проведения процедуры оценивания видов деятельности обучающихся, направленных на освоение знаний, умений, навыков и/или опыта деятельности, по накопительной системе в баллах устанавливается положением о системе РИТМ в ФГБОУ ВО «ПГТУ»

### 7.2. Промежуточная аттестация обучающихся

Промежуточная аттестация обучающихся направлена на оценивание результатов обучения по дисциплине (модулю) и проводится с использованием фондов оценочных средств.

Примеры типовых контрольных заданий из базы фонда оценочных средств по образовательной программе.

Билет 0.

1. Материальный баланс массообменного аппарата на примере противоточного абсорбера.
2. Тепловой эффект абсорбции
3. Решите пример на компонентный состав

**Пример 1.** Смешали три масляных фракции в следующих количествах:

$m_1=81\text{кг}$ ;  $m_2=135\text{ кг}$ ;  $m_3=54\text{ кг}$ .

Определить массовую долю каждой фракции в смеси.

## Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестации

### Массообменные процессы

1. Классификация массообменных процессов. Основные понятия и определения. Способы
2. выражения составов фаз.
3. Равновесие между фазами. Линия равновесия. Правило фаз. Закон Генри. Закон Рауля.
4. Материальный баланс массообменного аппарата (на примере противоточного абсорбера).
5. Уравнение рабочей линии. Направление массопередачи и движущая сила массообменного процесса.
6. Молекулярная диффузия. Первый и второй законы Фика. Коэффициент молекулярной диффузии, его физический смысл.
7. Массоотдача. Уравнение массоотдачи. Коэффициент массоотдачи.
8. Уравнение массопередачи. Коэффициент массопередачи. Понятие фазовых сопротивлений.
9. Абсорбция: физическая сущность и разновидности процесса. Закон равновесия при абсорбции.
10. Тепловой эффект абсорбции. Материальный баланс противоточного абсорбера.
11. Классификация абсорбционных аппаратов. Конструкции поверхностных и насадочных абсорберов.
12. Классификация абсорбционных аппаратов. Конструкции насадочных и барботажных абсорберов.
13. Дистилляция и ректификация: назначение и физическая сущность процессов.
14. Иллюстрация принципа осуществления этих процессов на диаграмме температура-состав.
15. Простая дистилляция. Схема установки. Материальный баланс процесса.
16. Физические основы непрерывной ректификации. Схема установки и ее принцип работы.
17. Материальный баланс верхней части колонны, уравнение линии рабочих концентраций.
18. Материальный баланс нижней части колонны, уравнение линии рабочих

концентраций.

19. Изображение процесса непрерывной ректификации на У-Х диаграмме.
20. Построение рабочих линий, определение теоретического и действительного числа тарелок.
21. Подобие диффузионных процессов.
22. Критерии диффузионного подобия.
23. Обобщенное критериальное уравнение конвективного массообмена.
24. Уравнение рабочей линии противоточного абсорбера
25. Влияние удельного расхода абсорбента на габариты аппарата.
26. Азеотропная ректификация.