

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УР

А.В. Бурмистров

« 17 » 11. 2017 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

По дисциплине Б1.Б.19 Техническая термодинамика

Специальность 18.05.01 «Химическая технология энергонасыщенных  
материалов и изделий»

Специализации: Автоматизированное производство химических предприятий,  
Технология энергонасыщенных материалов и изделий, Технология  
пиротехнических средств. Химическая технология полимерных композиций,  
порохов и твердых ракетных топлив. Химическая технология органических  
соединений азота

Квалификация (степень) выпускника инженер

Форма обучения очная

Институт, факультет ИХТИ

Кафедра-разработчик рабочей программы ТОТ

Курс, семестр 2 курс, 4 семестр

	Часы	Зачетные единицы
Лекции	18	0,5
Практические занятия		
Семинарские занятия		
Лабораторные занятия	36	1
Самостоятельная работа	54	1,5
Форма аттестации	зачет	
Всего	108	3

Казань, 2017 г.

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования № 1176 от 12.09.2016 года, по специальности 18.05.01 «Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий» для специализаций: Автоматизированное производство химических предприятий, Технология энергонасыщенных материалов и изделий, Технология пиротехнических средств. Химическая технология полимерных композиций, порохов и твердых ракетных топлив. Химическая технология органических соединений азота на основании учебного плана набора обучающихся 2016, 2017 годов

Разработчик программы:

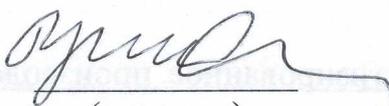
Проф. каф. ТОТ  
(должность)

  
(подпись)

Зарипов З.И.  
(Ф.И.О.)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ТОТ,  
протокол от 04.09.2017 г. №1

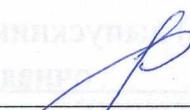
Зав. кафедрой, проф.

  
(подпись)

Ф.М. Гумеров  
(Ф.И.О.)

**СОГЛАСОВАНО**

Ответственный за направление

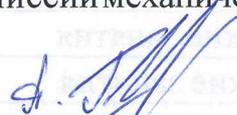
  
(подпись)

Петров В.А.  
(Ф.И.О.)

**УТВЕРЖДЕНО**

Протокол заседания методической комиссии механического факультета  
от 30.10.2017 г. № 7

Председатель комиссии, доцент

  
(подпись)

А.В. Гаврилов  
(Ф.И.О.)

Начальник УМЦ, доцент

  
(подпись)

Л.А. Китаева  
(Ф.И.О.)

## **1. Цели освоения дисциплины**

Целями освоения дисциплины «Техническая термодинамика» являются:

а) формирование знаний о методах преобразования и использования теплоты, а также принципы действия и конструктивные особенности тепловых и холодильных машин, тепло- и парогенераторов.

б) подготовка специалистов, владеющих навыками грамотной эксплуатации современного теплового оборудования при максимальной экономии топлива и материалов, интенсификация и оптимизация современных энерготехнологических процессов

в) на базе термодинамики с привлечением аппарата некоторых других фундаментальных дисциплин осуществляется расчет и проектирование всех тепловых двигателей – паровых и газовых турбин, реактивных и ракетных двигателей внутреннего сгорания, а также всевозможного технологического оборудования, как-то: холодильных машин, сушильных, сжижительных, энерготехнологических и других установок.

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Техническая термодинамика» относится к *базовой* части ООП и формирует у инженеров по специальности 18.05.01 «Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий» набор знаний, умений, навыков и компетенций.

Для успешного освоения дисциплины «Техническая термодинамика» инженер по специальности 18.05.01 «Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий» должен освоить материал предшествующих дисциплин:

а) Математика

б) Физика

Дисциплина «Техническая термодинамика» является предшествующей и необходима для успешного усвоения последующих дисциплин:

процессы и аппараты химической технологии,

Знания, полученные при изучении дисциплины «Техническая термодинамика» могут быть использованы при прохождении практик производственной, преддипломной и выполнении выпускных квалификационных работ могут быть использованы в проектной и экспертной видах деятельности по специальности 18.05.01 «Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий».

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

1. (ОК-1) способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу;
2. (ОПК-1) готовность использовать математические, естественнонаучные и инженерные знания для решения задач своей профессиональной деятельности.

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

1) Знать:

а) закономерности основных термодинамических процессов с идеальным и реальным газами;

б) схемы и циклы тепловых машин и холодильных установок, их КПД

в) принципы оптимизации энерготехнологических схем: принцип «многоступенчатости».

Принципы, связанные с входом и выходом энергоносителей. Принципы регенерации и интеграции.

2) Уметь:

а) определять термодинамические параметры и теплофизические свойства различных газов, водяного пара, хладагентов и других веществ;

б) пользоваться первым и вторым законами термодинамики;

в) пользоваться справочной литературой, диаграммами.

3) Владеть: термодинамическими методами повышения эффективности использования подводимой энергии.

#### **4. Структура и содержание дисциплины «Техническая термодинамика»**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы (в часах)				Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации по разделам
			Лекция	Семинар (Практическое занятие)	Лабораторные работы	СРС	
1	Тема 1. Основные понятия и определения термодинамики.	4	1	-	-	2	Тестирование
2	Тема 2. Первый закон термодинамики.	4	1,5	-	10	3	Защита лабораторных работ, тестирование, решение задач
3	Тема 3 Основные						Тестирование,

	<b>термодинамические процессы с идеальным газом.</b>	4	1,5	-	-	2	решение задач
4	<b>Тема 4. Второй закон термодинамики.</b>	4	2	-	-	2	Тестирование, решение задач
5	<b>Тема 5. Реальные газы.</b>	4	2	-	26	7	Защита лабораторных работ, тестирование
6	<b>Тема 6. Техническая термодинамика потока. Истечение и дросселирование газов и паров.</b>	4	2	-	-	2	Тестирование
7	<b>Тема 7. Термодинамический анализ процессов в компрессорах</b>	4	2	-	-	4	Тестирование
8	<b>Тема 8. Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и газотурбинных установок (ГТУ)</b>	4	2	-	-	14	Тестирование, защита расчетной работы
9	<b>Тема 9. Циклы паросиловых установок.</b>	4	1	-	-	4	Тестирование, защита расчетной работы
	<b>Тема 10. Циклы холодильных установок.</b>	4	3	-	-	14	Тестирование по темам 1-10
	<b>ИТОГО</b>		18	-	36	54	<i>Зачет</i>

5. *Содержание лекционных занятий по темам с указанием формируемых компетенций и используемых инновационных образовательных технологий.*

№ п / п	Раздел дисциплины	Часы	Тема лекционного занятия	Краткое содержание	Формируемые компетенции
1	<b>Тема 1. Основные понятия и определения термодинамики.</b>	1	Термодинамическая система. Основные параметры состояния. Равновесное и неравновесное состояние.	Уравнение состояния идеального газа. Термодинамические процессы: равновесные и неравновесные, обратимые и необратимые. Изображение термодинамических процессов в $pV$ -диаграмме	ОПК-1, ОК-1
2	<b>Тема 2. Первый закон термодинамики.</b>	1,5	Первый закон термодинамики. Теплота и работа как формы передачи энергии. Понятие о внутренней энергии и энтальпии.	Сущность первого закона термодинамики, формулировки и аналитические выражения. Работа проталкивания. Техническая и располагаемая работа. Теплоемкость газов Массовая, объемная и молярная теплоемкости (средняя и истинная, изобарная и изохорная). Зависимость теплоемкости от температуры. Формулы для расчета теплового потока по средним теплоемкостям. Смеси рабочих тел. Способы задания состава смеси, соотношения между массовыми и объемными долями. Вычисление параметров состояния смеси, определение кажущейся молекулярной массы и газовой постоянной смеси, определение парциальных давлений компонентов.	ОПК-1, ОК-1
3	<b>Тема 3 Основные термодинамические процессы с идеальным газом.</b>	1,5	Изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный процессы их анализ.	Изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный процессы их анализ. Изображение в координатах $pV$ и $TS$ . Политропные процессы. Основные характеристики политропных процессов. Обобщающее значение политропного процесса.	ОПК-1, ОК-1
4	<b>Тема 4. Второй закон термодинамики.</b>	2	Сущность второго закона термодинамики. Основные формулировки	Прямые и обратные циклы. Термодинамические КПД и холодильный коэффициент. Циклы Карно и их свойства. Аналитическое выражение второго закона термодинамики. (первый и второй	ОПК-1, ОК-1

			второго закона термодинамики. Термодинамические циклы тепловых машин.	интегралы Клаузиуса) Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах. Принцип возрастания энтропии изолированной системы Философское и статистическое толкования второго закона термодинамики. Формула Больцмана Понятие об эксергии, эксергетический баланс и эксергетический к.п.д	
5	<b>Тема 5. Реальные газы.</b>	2	Свойства реальных газов Опыт Эндрюса и уравнение состояния реальных газов. Способы определения коэффициента сжимаемости.	Процессы парообразования в PV и TS координатах. Водяной пар Параметры кипящей жидкости, сухого насыщенного пара, влажного насыщенного пара и перегретого пара. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Анализ процессов в реальных газах с помощью таблицы ТСВП и диаграмм $hs$ и $lqp-h$	ОПК-1
6	<b>Тема 6. Техническая термодинамика потока. Истечение и дросселирование газов и паров.</b>	2	Уравнение первого закона термодинамики для потока. Понятие о сопловом и диффузорном течении газа. Скорость газа и его массовый расход при адиабатном течении. Связь критической скорости истечения с местной скоростью распространения звука. Критическое отношение давлений.	Условие перехода через критическую скорость. Сопло Ловая. Расчет процессов истечения реального газа с помощью $hs$ -диаграммы. Действительный процесс истечения. Параметры заторможенного потока. Дросселирование газов и паров. Сущность процесса дросселирования и его уравнение. Изменение параметров в процессе дросселирования. Понятие об эффекте Джоуля - Томпсона. Особенности дросселирования идеального и реального газов. Понятие о температуре инверсии. Практическое использование процесса дросселирования. Условное изображение процесса дросселирования в $hs$ - и $TS$ -диаграммах	ОПК-1
7	<b>Тема 7. Термодинамический анализ процессов в компрессорах</b>	2	Классификация компрессоров и принцип действия. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатия.	Полная работа, затраченная на привод компрессора. Влияние объема вредного пространства на работу компрессоров. Многоступенчатое сжатие. Изображение в Pv- и TS-диаграммах термодинамических процессов, протекающих в компрессорах. Относительный внутренний КПД компрессора. Расчет потерь энергии и эксергетический КПД компрессора	ОПК-1
8	<b>Тема 8.</b>	2	Принцип действия поршневых ДВС.	Термодинамические и эксергетические КПД циклов ДВС. Сравнительный	ОПК-1, ОК-1

	<b>Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и газотурбинных установок (ГТУ)</b>		Циклы с изохорным и изобарным подводом теплоты. Цикл со смешанным подводом теплоты. Изображение циклов в P <sub>v</sub> - и TS-диаграммах.	анализ термодинамических циклов ДВС	
9	<b>Тема 9. Циклы паросиловых установок.</b>	1	Принципиальная схема паросиловой установки. Цикл Ренкина и его исследование. Влияние начальных и конечных параметров на термический КПД цикла Ренкина. Изображение цикла в P <sub>V</sub> , TS и HS диаграммах.	Пути повышения экономичности паросиловых установок. Теплофикационный цикл. Понятие о циклах атомных силовых установок. Эксергетический анализ циклов паросиловых установок.	ОПК-1, ОК-1
10	<b>Тема 10. Циклы холодильных установок.</b>	3	Классификация холодильных установок. Рабочие тела.	Холодильный коэффициент и холодопроизводительность. Цикл воздушной холодильной установки. Циклы паровых компрессорных холодильных установок. Понятие об абсорбционных и парожеторных холодильных установках. Получение сжиженных газов. Общие принципы и способы достижения сверхнизких температур	ОПК-1

**6. Содержание семинарских, практических занятий (лабораторного практикума)**

– не предусмотрено учебным планом

**7. Содержание лабораторных занятий (если предусмотрено учебным планом)**

Учебным планом предусмотрено проведение лабораторных занятий по дисциплине «Техническая термодинамика» для студентов очной формы обучения в объеме 36 часов.

Цель проведения лабораторных занятий – усвоение лекционного материала, а также выработка студентами умений, связанных с обработкой экспериментальных данных.

№ п/п	Раздел дисциплины	Часы	Наименование лабораторной работы	Краткое содержание	Формируемые компетенции
1	<b>Тема 5. Реальные</b>	8	Исследование процессов с влажным паром	Процессы парообразования в P <sub>V</sub> и TS координатах. Водяной пар. Параметры кипящей	ОПК-1, ОК-1

	<b>газы.</b>		воздухом	жидкости, сухого насыщенного пара, влажного насыщенного пара и перегретого пара.	
2	<b>Тема 2. Первый закон термодинамики.</b>	10	Измерение теплоемкости и воздуха	Теплоемкость газов Массовая, объемная и молярная теплоемкости (средняя и истинная, изобарная и изохорная). Зависимость теплоемкости от температуры. Формулы для расчета теплового потока по средним теплоемкостям.	ОПК-1, ОК-1
3	<b>Тема 5. Реальные газы.</b>	8	Исследование $PV$ -диаграммы углекислого газа (опыт Эндрюса)	Свойства реальных газов Опыт Эндрюса и уравнение состояния реальных газов. Способы определения коэффициента сжимаемости.	ОПК-1, ОК-1
4	<b>Тема 5. Реальные газы.</b>	10	Исследование кривой насыщения водяного пара	Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Анализ процессов в реальных газах с помощью таблицы ТСВП	ОПК-1, ОК-1

Лабораторные занятия проводятся в помещениях учебных и научных лабораторий кафедры «Теоретические основы теплотехники» с использованием лабораторных и исследовательских экспериментальных установок и стендов.

#### **8. Самостоятельная работа специалиста/магистранта/аспиранта**

<b>№ п/п</b>	<b>Темы, выносимые на самостоятельную работу</b>	<b>Часы</b>	<b>Форма СРС</b>	<b>Формируемые компетенции</b>
1	Изучение теоретического (лекционного) материала в течение семестра	12	Проработка теоретического материала	ОПК-1, ОК-1
2	Подготовка к лабораторным работам оформление отчетов	10	Проработка теоретического материала, расчет лабораторных работ	ОПК-1, ОК-1
3	Выполнение расчетной работы на тему: «Расчет цикла тепловых двигателей с газообразным рабочим телом»	16	Выполнение расчетно-графического задания, оформление отчета	ОПК-1, ОК-1
4	Выполнение расчетной работы на тему: «Расчет цикла тепловых двигателей с парообразным рабочим телом»	16	Выполнение расчетно-графического задания, оформление отчета	ОПК-1, ОК-1

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

При оценке результатов деятельности студентов в рамках дисциплины «Техническая термодинамика» используется рейтинговая система. Рейтинговая оценка формируется на

основании текущего и промежуточного контроля. Максимальное и минимальное количество баллов по различным видам учебной работы описано в положении о рейтинговой системе.

Максимальное количество баллов по дисциплине составляет 100 баллов.

Промежуточной аттестацией по дисциплине является зачет, поэтому минимальный текущий рейтинг – 60, максимальный - 100 баллов.

<b>Оценочные средства</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Минимально баллов</b>	<b>Максимально баллов</b>
Лабораторная работа	4	32	52
Расчетно-графическая работа	2	16	26
Тест	1	3	5
Контрольные задачи	1	9	17
<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 «Техническая термодинамика»

### 11.1 Основная литература

При изучении дисциплины «Техническая термодинамика» в качестве основных источников информации рекомендуется использовать следующую литературу.

Основные источники информации	Кол-во экз.
1. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача [Учебники] : учеб. пособие для неэнергет. спец. вузов / В.В. Нащокин .— 4-е изд., стереотип. — М.: Аз-book, 2008 .— 470 с. : ил., табл.	988 экз. в УНИЦ КНИТУ
2. <a href="#">Шилова С.В.</a> Химическая термодинамика [Электронный ресурс] : метод. руководство к практ. занятиям / Казан. гос. технол. ун-т ; С.В. Шилова [и др.] .— Казань : КНИТУ, 2009 .— 116 с. : табл.	Электронная библиотека УНИЦ КНИТУ <a href="http://ft.kstu.ru/ft/978-5-7882-XXX-Shilova_himicheskaya-termodinamika.pdf">http://ft.kstu.ru/ft/978-5-7882-XXX-Shilova_himicheskaya-termodinamika.pdf</a> Доступ с IP адресов КНИТУ
3. Амирханов Д.Г. Техническая термодинамика [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Казанский нац. исслед. технол. ун-т ; Д.Г. Амирханов, Р.Д. Амирханов .— Казань : КНИТУ, 2014 .— 264 с. : ил.	Электронная библиотека УНИЦ КНИТУ <a href="http://ft.kstu.ru/ft/Amirchanov-tekhnicheskaya.pdf">http://ft.kstu.ru/ft/Amirchanov-tekhnicheskaya.pdf</a> Доступ с IP адресов КНИТУ

### 10.2 Дополнительная литература

В качестве дополнительных источников информации рекомендуется использовать следующую литературу:

Дополнительные источники информации	Кол-во экз.
1. Курбангалеев М.С. Техническая термодинамика [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным работам / М.С. Курбангалеев, А.А. Мухамадиев, И.Х. Хайруллин ; Казан. нац. исслед. технол. ун-т .— Казань : Изд-во КНИТУ, 2014 .— 60 с. : ил.	Электронная библиотека УНИЦ КНИТУ <a href="http://ft.kstu.ru/ft/Kurbangaleev-tekhnicheskaya_termodinamika_MU.pdf">http://ft.kstu.ru/ft/Kurbangaleev-tekhnicheskaya_termodinamika_MU.pdf</a> Доступ с IP адресов КНИТУ
3. Гинзбург В.Л. Сборник задач по общему курсу физики. Книга II. Термодинамика и молекулярная физика / Гинзбург В.Л. ; Левин Л.М. ; Сивухин Д.В. ; Яковлев И.А. — Moscow : Физматлит, 2006 .— Сборник задач по общему курсу физики. Книга II. Термодинамика и молекулярная физика [Электронный ресурс] / Гинзбург В.Л., Левин Л.М., Сивухин Д. В., Яковлев И.А.; Под ред. Д. В. Сивухина. - 5-е изд., стер. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006.	ЭБС «Консультант студента» <a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922106031.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922106031.html</a> Доступ из любой точки интернета после регистрации с IP-адресов КНИТУ

### 11.3 Электронные источники информации

При изучении дисциплины «Техническая термодинамика» в качестве электронных источников информации, рекомендуется использовать следующие источники:

- а) Электронный каталог УНИЦ КНИТУ – Режим доступа: <http://ruslan.kstu.ru/>
- б) Электронная библиотека УНИЦ КНИТУ – Режим доступа: <http://ft.kstu.ru/ft/>
- в) ЭБС «Консультант студента» - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru>
- г) ЭБС «znanium.com» - Режим доступа: [www.znaniy.com](http://www.znaniy.com)

**Согласовано:**  
Зав. сектором ОКУФ



### ***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.

#### **1. Лекционные занятия:**

- a. комплект электронных презентаций, слайдов, видеофильмов

#### **2. Лабораторные работы:**

- a. лаборатория А-23 оснащена лабораторным оборудованием для проведения работ: исследование процессов с влажным воздухом, измерение теплоемкости воздуха, исследование  $PV$  - диаграммы углекислого газа (опыт Эндрюса), исследование кривой насыщения водяного пара.
- b. лаборатория А-35 (Компьютерный класс) оснащена 8 компьютерами,
- c. шаблоны расчетов и отчетов по лабораторным работам представлены в электронном виде,
- d. результаты расчетов оформляются на принтере.

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

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивной форме обучения составляет 11 часов. Лекционные занятия проводятся при помощи проектора в виде презентаций и слайдов.