

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*Кафедра Технологического и
холодильного оборудования*

**Методические указания
к самостоятельному изучению дисциплины
«Термодинамика и теплопередача»
для обучающихся по направлению подготовки
21.05.05 «Физические процессы горного или
нефтегазового производства»
Направленности/специализации:
«Физические процессы нефтегазового производства»
для очной формы обучения**

Мурманск

2021

Методические указания для самостоятельного изучения дисциплины «**Термодинамика и теплопередача**» рассмотрены и одобрены на заседании кафедры-разработчика ***Технологического и холодильного оборудования***

«22» июня_2021 г., протокол №_12_

Составитель – Дьяков Алексей Владимирович, ст. преподаватель кафедры технологического и холодильного оборудования.

Рецензент – Похольченко Вячеслав Александрович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой технологического и холодильного оборудования.

ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Методические указания для самостоятельного изучения дисциплины «Термодинамика и теплопередача» составлены на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 21.05.05 «Физические процессы горного или нефтегазового производства», утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 12.08.2020 г., № 981 и предназначены для обучающихся по направлению подготовки 21.05.05 «Физические процессы горного или нефтегазового производства», направленности (специализации) «Физические процессы нефтегазового производства».

Цель дисциплины - формирование компетенций в соответствии с ФГОС по направлению подготовки 21.05.05 «Физические процессы горного или нефтегазового производства», направленности (специализации) «Физические процессы нефтегазового производства».

Задачи дисциплины:

изучение законов термодинамики и теплообмена; умение применять теоретические знания при решении профессиональных задач; умение оценивать эффективность работы тепловых и холодильных установок; умение различать способы и виды теплообмена; умение проводить тепловой расчет теплообменных аппаратов.

В результате изучения дисциплины бакалавр должен:

Знать:

- принципиальные особенности моделирования математических, физических и химических процессов, предназначенных для конкретных технологических процессов

Уметь:

- использовать основные законы дисциплин инженерно-механического модуля,

- использует принципиальные особенности моделирования математических, физических и химических процессов, предназначенных для конкретных технологических процессов,

Владеть:

- основными методами технико-экономического анализа, навыками составления рабочих проектов в составе творческой команды,

- работах по совершенствованию производственных процессов с использованием экспериментальных данных и результатов моделирования,

- навыками делового взаимодействия с сервисной службой и оценивать их рекомендации с учетом экспериментальной работы технологического отдела предприятия.

Содержание разделов дисциплины:

Основные понятия и определения термодинамики. Термодинамическая система и окружающая среда. Газовые смеси. Закон Дальтона. Способы задания газовых смесей, их взаимосвязь. Первый закон термодинамики. Термодинамические процессы. Термодинамические циклы. Процессы парообразования, конденсации и перегрева пара. Истечение газов и паров. Дросселирование газов и паров. Сжатие газов. Процессы сжатия в одно- и многоступенчатых компрессорах. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Циклы ГТУ, Циклы холодильных машин и тепловых насосов. Термогазодинамические характеристики природного газа.

Основные понятия и определения теплообмена. Основной закон теплопроводности. Теплопроводность и теплопередача в однослойной и многослойной плоской, цилиндрической, шаровой стенках. Тепловая изоляция. Выбор теплоизоляционного материала. Теплопередача через ребренную стенку. Теплопроводность при нестационарном тепловом режиме. Расчет и подбор изоляции. Расчет и подбор основного теплового оборудования. Конвективный теплообмен. Виды движения теплоносителя. Теплообмен излучением. Законы теплового излучения. Основы массообмена. Тепло- и массообменные аппараты. Температурный режим скважин. Температурный режим магистральных газонефтепроводов.

Реализуемые компетенции: ОПК-3

Формы отчетности:

Очная форма обучения: Семестр 4 – экзамен, РГР

Требования к уровню подготовки обучающегося в рамках данной дисциплины

Процесс изучения дисциплины «Термодинамика и теплопередача» направлен на формирование компетенций в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 21.05.05 «Физические процессы горного или нефтегазового производства», представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Компетенции, формируемые дисциплиной «Термодинамика и теплопередача»

№ п/п	Код и содержание компетенции	Степень реализации компетенции	Этапы формирования компетенции (Индикаторы сформированности компетенций)
1	2	3	4
1.	ОПК-3 – Способен применять методы фундаментальных и прикладных наук при оценке экологически безопасного состояния окружающей среды при добыче и переработке полезных ископаемых, в том числе при освоении ресурсов шельфа морей и океанов.	Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины, и компетенция реализуется частично	ИОПК-3.1 Знает: --методики и приемы выбора и расчета основных технологических параметров, (в части термодинамики и теплопередачи) ИОПК-3.2 Умеет: -находить и обосновывать оптимальные режимы ведения технологического процесса, (в части термодинамики и теплопередачи) ИОПК-3.3 Владеет: -расчетами эффективности инженерных решений, (в части термодинамики и теплопередачи)

Целью настоящих методических указаний являются рекомендации, которыми обучающийся может воспользоваться при подготовке к сдаче форм контроля по дисциплине «Термодинамика и теплопередача», при подготовке к зачету и для самостоятельного углубления знаний по данной дисциплине.

Введение

Дисциплина «Термодинамика и теплопередача» состоит из двух модулей (двенадцати тем). Обучающийся должен изучить теоретические

сведения по темам модулей, выполнить практические работы и расчетно-графическую работу, для усвоения теории и завершить изучение дисциплины сдачей экзамена.

Для изучения дисциплины в составе методической литературы обучающимся предлагается изучить литературные источники из списка. Начать изучение дисциплины следует с методических указаний для самостоятельного изучения дисциплины.

Содержание разделов дисциплины (модуля), виды работы представлены в таблице 2.

Таблица 2

Содержание разделов (модулей), тем дисциплины	Количество часов, выделяемых на виды учебной работы по формам обучения
	Очная
	СР
<p>Модуль 1. Термодинамика в технологических процессах нефтяной и газовой промышленности. Тема 1 Основные понятия и определения термодинамики. Термодинамическая система и окружающая среда. Виды термодинамических систем. Термодинамические параметры состояния. Нулевое начало термодинамики. Равновесные и неравновесные системы. Уравнение состояния идеальных газов. Удельная и универсальная газовые постоянные. Газовые смеси. Закон Дальтона. Способы задания газовых смесей, их взаимосвязь.</p>	5
<p>Тема 2 Основные законы термодинамики. Первый закон термодинамики. Работа и теплота процесса. Внутренняя энергия системы. Энтальпия. Энтропия. s-T-диаграмма и ее свойства. Уравнение Майера для идеальных и реальных газов. Теплоемкость смеси газов.</p>	5
<p>Тема 3 Термодинамические процессы. Классификация процессов изменения состояния рабочего тела. Общие методы исследования и определения термодинамических параметров тепловых процессов изменения состояния рабочих тел. Изображение процессов в v-P- и s-T- диаграммах. Второй закон термодинамики. Термодинамические циклы. Термический КПД и холодильный коэффициент. Прямой и обратный циклы Карно и их свойства. Фазовые переходы веществ. Фазовая диаграмма вещества.</p>	5
<p>Тема 4 Истечение газов и паров. Дросселирование газов и паров. Основные понятия. Сопла и диффузоры. Адиабатное истечение из сопел. Изменение основных параметров истечения. Получение дозвуковых и сверхзвуковых скоростей истечения. Сопло Лаваля. Эффект Джоуля- Томсона. Изменение параметров потока при дросселировании.</p>	5

<p>Тема 5 Прикладные вопросы термодинамики Сжатие газов. Процессы сжатия в одно- и многоступенчатых компрессорах. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Термодинамические циклы тепловых установок. ГТУ. Принципы работы ГТУ. Паросиловая установка. Принцип её работы. Циклы холодильных машин и тепловых насосов.</p>	5
<p>Тема 6 Термогазодинамические характеристики природного газа Реальные газы и пары. Свойства реальных газов. Коэффициент сжимаемости. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Анализ применимости уравнений состояния различных типов к области, характерной для работы газопроводов. Термодинамические величины и показатели процессов природных газов применительно к условиям газопроводов.</p>	5
<p>Модуль 2. Теплопередача в технологических процессах нефтяной и газовой промышленности. Тема 1 Основные понятия и определения теплообмена. Виды переноса теплоты: теплопроводность, конвекция, излучение. Сложный теплообмен. Температурное поле. Градиент температуры. Основной закон теплопроводности. Коэффициент теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Начальные и граничные условия</p>	5
<p>Тема 2 Теплопроводность и теплопередача. Теплопроводность однослойной и многослойной плоской, цилиндрической, шаровой стенках. Теплопередача в однослойной и многослойной плоской, цилиндрической, шаровой стенках. Тепловая изоляция. Выбор теплоизоляционного материала. Теплопередача через ребренную стенку. Теплопроводность при нестационарном тепловом режиме. Расчет и подбор изоляции. Расчет и подбор основного теплового оборудования.</p>	5
<p>Тема 3 Конвективный теплообмен Виды движения теплоносителя. Пограничный слой: тепловой и гидродинамический. Подobie физических процессов. Числа подобия. Критериальные уравнения. Теплообмен при вынужденном движении теплоносителя в трубах. Теплообмен при свободном движении теплоносителя. Теплообмен при изменении агрегатного состояния вещества. Теплоотдача при поперечном отекании труб</p>	5
<p>Тема 4 Теплообмен излучением. Основные понятия и определения. Законы теплового излучения. Теплообмен излучением между твердыми телами. Тепловые экраны. Особенности излучения газообразных тел.</p>	5
<p>Тема 5 Теплообменные аппараты, их виды и расчет Классификация теплообменных аппаратов, основы теплового расчета теплообменных аппаратов.</p>	5
<p>Тема 6 Температурный режим скважин и магистральных газопроводов. Особенности теплообмена в добывающей скважине. Температурное поле скважины. Уравнения температурного напора режима нефти и газопроводов. Тепловые потери подземного трубопровода.</p>	5
Итого:	60

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

№ п\п	Библиографическое описание* (название литературного источника)	Наличие		
		Электронно-библиотечная система (ЭБС)	Библиотека МГТУ (печатное издание)	Количество экземпляров печатного издания
1.	Нащокин, В. В. Техническая термодинамика и теплопередача : учеб. пособие для вузов / В. В. Нащокин. - Изд. 4-е, стер. - [Москва] : Аз-book, 2008. - 468, [1] с. : ил. - Библиогр.: с. 463. - ISBN 978-5-904034-01-6	-	+	93
2.	Овсянников, М. К. Теплотехника : Техническая термодинамика и теплопередача : учебник для вузов / М. К. Овсянников, И. И. Костылев. - Санкт-Петербург : Элмор, 1998. - 208 с. : ил. - ISBN 5-7399-0045-X	-	+	47

Дополнительная литература

№ п\п	Библиографическое описание* (название литературного источника)	Наличие		
		Электронно-библиотечная система (ЭБС)	Библиотека МГТУ (печатное издание)	Количество экземпляров печатного издания
3.	Круглов, Г. А. Теплотехника : учеб. пособие для вузов / Г. А. Круглов, Р. И. Булгакова, Е. С. Круглова. - Изд. 2-е, стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2012. - 207 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 204-205. - ISBN 978-5-8114-1017-0	-	+	5
4.	Девяткин, П.Н. Термодинамика: учеб. пособие / Гос.ком.Рос.Федерации по рыболовству, МГТУ – Мурманск : Изд-во МГТУ, 2008. - 98с.	+	+	25

СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Модуль 1. Термодинамика в технологических процессах нефтяной и газовой промышленности.

ТЕМА 1

Основные понятия и определения термодинамики.

Термодинамическая система и окружающая среда. Виды термодинамических систем. Термодинамические параметры состояния. Нулевое начало термодинамики. Равновесные и неравновесные системы. Уравнение состояния идеальных газов. Удельная и универсальная газовые постоянные. Газовые смеси. Закон Дальтона. Способы задания газовых смесей, их взаимосвязь.

Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:
знать основные термины и определения, применяемые в технической термодинамике;

уметь вычислять значения параметров состояния идеального газа

Методические указания

При изучении данной темы необходимо усвоить терминологию и основные понятия, используемые при рассмотрении процессов взаимодействия термодинамической системы и окружающей среды, взаимного превращения теплоты и работы, при вычислении параметров состояния идеального газа и газовых смесей.

Изучая материалы данной темы, следует обратить внимание на принципиальные отличия идеальных газов от реальных. При этом следует иметь в виду, что общее уравнение состояния справедливо как для идеальных, так и для реальных газов. Однако в виду больших трудностей до сих пор не удалось получить универсального уравнения для реальных газов, которое охватывало бы все области изменения их состояний.

Для закрепления изученного материала рекомендуется ответить на вопросы и решить предложенные задачи. При выполнении расчетов следует иметь в виду, что за нормальные условия в технической термодинамике принимаются следующие: $P_{\text{н}} = 101326 \text{ Па}$, $T_{\text{н}} = 273,15\text{К}$.

Литература: [1], с. 145-148; [2], с. 6-12; [3], с. 3-148;

Вопросы и задания для самопроверки

1. Что понимается под термодинамической системой? Дайте классификацию термодинамических систем.
2. Назовите основные термические параметры состояния рабочего тела и напишите их размерность.
3. В чем состоит различие между абсолютным давлением, избыточным и атмосферным давлениями?
4. Дайте определение идеального газа.
5. Какие параметры входят в уравнение состояния идеального газа?

ТЕМА 2

Основные законы термодинамики.

Первый закон термодинамики. Работа и теплота процесса. Внутренняя энергия системы. Энтальпия. Энтропия. s-T-диаграмма и ее свойства.

Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:
знать сущность первого закона термодинамик и его основные формулировки, определения внутренней энергии, энтальпии и энтропии;
уметь определять работу и теплоту процесса на диаграммах, рассчитывать работу изменения объема и располагаемую работу в термодинамическом процессе.

Методические указания

При изучении данной темы следует обратить внимание на различную природу величин du , di , и ds , с одной стороны, и dq , dl , dl' - с другой, так как внутренняя энергия, энтальпия и энтропия являются функциями состояния, изменения которых определяются начальным и конечным состояниями рабочего тела независимо от совершающегося при этом процесса. В связи с этим du , di , и ds представляют собой положительные или отрицательные бесконечно малые изменения соответственно удельной внутренней энергии, удельной энтальпии рабочего тела и удельной энтропии и являются полными дифференциалами. Величины q , l , l' являются функциями не состояния, а процесса, характер протекания которого определяет их числовые значения. В связи с этим величины dq , dl и dl' представляют собой соответственно бесконечно малые количества удельной теплоты, удельной работы расширения и удельной располагаемой работы, затраченные или полученные в элементарном процессе изменения состояния рабочего тела, т. е. теплота и работа не являются параметрами состояния рабочего тела и не имеют полных дифференциалов. Поскольку количество теплоты зависит от характера процесса, то и теплоемкость также зависит от условий протекания процессов.

Литература: [1], с. 149-158; [2], с. 19-21; [3], с. 13-48;

Вопросы и задания для самопроверки

1. Дайте определение удельной теплоемкости.
2. Запишите соотношения между массовой, объемной и мольной (молярной) теплоемкостями.
3. В чем отличие понятий "истинная теплоемкость" и "средняя теплоемкость"?
4. Как определить среднюю теплоемкость в интервале температур $t_1 \dots t_2$, пользуясь таблицами теплоемкостей?

5. Объясните смысл величин, входящих в уравнение Майера.
6. Сформулируйте первый закон термодинамики и напишите его аналитическое выражение.

ТЕМА 3

Термодинамические процессы.

Классификация процессов изменения состояния рабочего тела. Общие методы исследования и определения термодинамических параметров тепловых процессов изменения состояния рабочих тел. Изображение процессов в v - P - и s - T - диаграммах. Второй закон термодинамики. Термодинамические циклы. Термический КПД и холодильный коэффициент. Прямой и обратный циклы Карно и их свойства. Фазовые переходы веществ. Фазовая диаграмма вещества.

Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:
знать последовательность анализа термодинамических процессов и расчета параметров изменения состояния рабочего тела;
уметь составлять уравнения процессов, устанавливающих закономерность изменения параметров состояния рабочего тела в процессах, рассчитывать изменения внутренней энергии, энтальпии, энтропии в любом термодинамическом процессе..

Методические указания

При изучении термодинамических процессов идеальных газов следует иметь в виду, что во всех процессах, протекающих в одном и том же интервале температур, внутренняя энергия идеального газа изменяется на одинаковую величину. Таким образом, площадь под изохорным процессом в

S - T - диаграмме численно равна внутренней энергии любого другого термодинамического процесса, протекающего в том же интервале температур. Если температура рабочего тела в процессе возрастает, то внутренняя энергия увеличивается; если температура снижается, то внутренняя энергия уменьшается.

При изучении изобарных процессов необходимо иметь в виду, что площадь под изобарным процессом в S - T - координатах численно равна изменению энтальпии. Если учесть, что изменение энтальпии определяется только изменением температуры, то в любых термодинамических процессах,

протекающих в одном и том же интервале температур, изменение энтальпии одинаково. Поэтому площадь под изобарным процессом в $S - T$ - координатах в заданном интервале температур численно равна изменению энтальпии в любом другом термодинамическом процессе, протекающем в этом же интервале температур. При увеличении температуры рабочего тела изменение энтальпии в процессе будет положительной величиной, при уменьшении температуры - отрицательной.

Важность изучения термодинамических процессов идеальных газов объясняется тем, что рабочие тела во многих реальных технических устройствах, в том числе в системах теплогасоснабжения, вентиляции, отопления, кондиционирования воздуха, можно с некоторым допущением считать идеальным газом, получая при этом приемлемую точность расчетов.

Литература: [1], с. 140-168; [2], с. 25-34; [4], с. 21-26;

Вопросы и задания для самопроверки

1. Назовите термодинамические процессы. Дайте определение каждого из процессов.
2. Напишите уравнения и укажите связь основных параметров в каждом термодинамическом процессе.
3. Покажите на v - P - и s - T - диаграммах характер изменения термодинамических процессов.
4. Напишите формулы для вычисления теплоты, работы, изменения внутренней энергии, энтальпии и энтропии для каждого из процессов.
5. Объясните физический смысл отрицательных значений теплоемкости.
6. Как называется процесс, в котором вся подведенная теплота идет на увеличение внутренней энергии?

ТЕМА 4

Истечение газов и паров. Дросселирование газов и паров.

Основные понятия. Сопла и диффузоры. Адиабатное истечение из сопел. Изменение основных параметров истечения. Получение дозвуковых и сверхзвуковых скоростей истечения. Сопло Лавалья. Эффект Джоуля-Томсона. Изменение параметров потока при дросселировании.

Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:
знать допущения, которые принимаются при выводе уравнения энергии газового потока, влияние трения на течения газа или пара, примеры практического использования эффекта дросселирования;

уметь выполнять расчет сужающегося сопла и сопла Лаваля, строить процессы дросселирования в соответствующих координатах

Методические указания

Истечением называется ускоренное движение газа через относительно короткие каналы особой формы – сопла, в которых происходит падение давления. Если в каналах происходит уменьшение скорости движения и увеличение давления, то такие каналы называются диффузорами.

При изучении данной темы обучающемуся следует особое внимание уделить процессам дросселирования, которые широко используются в технической промышленности. При этом необходимо понять смысл температуры инверсии и инверсионной кривой. Последняя делит всю область диаграммы изменения температуры вещества от давления на две части.

Литература: [1], с. 156-188; [2], с. 80-94; [3], с. 209-226;

Вопросы и задания для самопроверки

1. В чем состоит физический смысл критической скорости?
2. Напишите уравнение первого закона термодинамики для потока.
3. Какой процесс называется дросселированием?
4. Опишите процесс дросселирования паров и газов.
5. Что называется эффектом дросселирования?
6. Где применяется положительный эффект Джоуля-Томпсона?

ТЕМА 5

Прикладные вопросы термодинамики

Сжатие газов. Процессы сжатия в одно- и многоступенчатых компрессорах. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Термодинамические циклы тепловых установок. ГТУ. Принципы работы ГТУ. Паросиловая установка. Принцип её работы. Циклы холодильных машин и тепловых насосов.

Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:
знать схемы ДВС и ГТУ, назначение их функциональных элементов, способы повышения термических КПД установок.

уметь рассчитывать термических КПД установок, определять графоаналитическим методом количества подведенной и отведенной теплоты и работу расширения пара.

Методические указания

При рассмотрении термодинамических циклов ДВС и ГТУ следует иметь ввиду, что высокая конечная влажность пара в цикле при адиабатном расширении создает крайне неблагоприятные гидродинамические условия работы двигателя..

Изучая цикл Ренкина, обучающийся должен обратить внимание на процесс расширения пара в турбине, который в действительном цикле является необратимым вследствие трения и внутренних потерь, этот процесс сопровождается увеличением энтропии, и это необходимо учитывать в расчётах.

При изучении идеальных термодинамических циклов газовых тепловых двигателей следует обратить внимание на большую скорость протекания процессов.

Литература: [2], с. 112-203; [3], с. 50-94; [4], с. 215-246;

Вопросы и задания для самопроверки

1. Для чего применяется вторичный перегрев пара?
2. Опишите способы повышения термического КПД паросиловой установки.
3. Чем оценивается степень совершенства теплофикационного цикла?
4. Проанализируйте влияние степени сжатия на термический КПД тепловых двигателей
5. В чем преимущества и недостатки газотурбинной установки по сравнению с поршневым двигателем внутреннего сгорания?

ТЕМА 6

Термогазодинамические характеристики природного газа

Реальные газы и пары. Свойства реальных газов. Коэффициент сжимаемости. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Анализ применимости уравнений состояния различных типов к области, характерной для работы газопроводов. Термодинамические величины и показатели процессов природных газов применительно к условиям газопроводов.

Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:
знать принципиальные отличия реальных газов и паров от идеальных, фазовые переходы веществ, процессы парообразования и конденсации;
уметь вычислять параметры состояния воды и водяного пара с использованием таблиц и диаграмм в различных координатах, термодинамические величины и показатели процессов природных газов применительно к условиям газопроводов.

Методические указания

Приступая к изучению этой темы, необходимо уяснить, что расчетные формулы, применяющиеся при изучении идеальных газов, в данном случае, как правило, не применимы, и только при очень низких давлениях и высоких температурах реальные газы по своим свойствам приближаются к идеальным.

При рассмотрении отдельных уравнений реального газа, например, уравнения Ван – дер – Ваальса, следует ясно представлять, на каких физических принципах строятся эти уравнения, и как из них получаются уравнения состояния идеальных газов.

Изучая диаграммы воды и водяного пара в v - P , s - T и s - i координатах, необходимо разобраться в возможностях применения той или иной диаграммы для практических расчетов параметров состояния воды, влажного насыщенного, сухого насыщенного и перегретого пара.

Литература: [2], с. 112-203; [3], с. 50-94; [4], с. 215-246;

Вопросы и задания для самопроверки

1. Как изменяется теплота парообразования при изменении давления?
2. Какими параметрами можно охарактеризовать состояние влажного, сухого и перегретого пара?
3. Покажите на v - P - и s - T - диаграммах водяного пара характерные области и линии фазовых переходов. Как определить с использованием диаграмм количество теплоты, затрачиваемой на получение 1 кг пара?
4. Напишите формулы для вычисления удельного объема, энтропии, энтальпии, и внутренней энергии влажного насыщенного водяного пара.
5. В чем назначение таблиц термодинамических свойств воды и водяного пара? Каково их использование?

6. Какие уравнения состояния применяются к области. Характерной для работы газопроводов.

Модуль 2. Теплопередача в технологических процессах нефтяной и газовой промышленности.

ТЕМА 1

Основные понятия и определения теплообмена.

Виды переноса теплоты: теплопроводность, конвекция, излучение. Сложный теплообмен.

Температурное поле. Градиент температуры. Основной закон теплопроводности. Коэффициент теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Начальные и граничные условия

Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:

знать роль теплообмена в основных отраслях промышленности, а также современное состояние и направления развития теплообмена;

уметь анализировать современное состояние и направления развития теории теплообмена

Методические указания

При изучении данной темы необходимо обратить внимание на роль отечественных ученых в развитии теории теплообмена.

Значение теории теплообмена для развития исследований термодинамических процессов трудно переоценить. Нет такой области техники, где в той или иной мере не приходилось бы решать теплотехнические вопросы. В металлургии, машиностроении, химической и нефтехимической промышленности большое значение имеют вопросы подвода, отвода и превращения теплоты, а также вопросы применения машин, работа которых либо непосредственно, либо косвенно связана с протекающими в них тепловыми процессами.

Изучая материалы данной темы, следует обратить внимание на повышение эффективности использования теплоты.

Литература: [1], с. 348-349; [2], с. 94-96-12; [3], с. 306-307;

Вопросы и задания для самопроверки

1. Какое значение имеет теория теплообмена для развития науки и промышленности?
2. Назовите области применения теплоты и холода.
3. Приведите примеры использования в промышленности термодинамических процессов.

ТЕМА 2

Теплопроводность и теплопередача.

Теплопроводность однослойной и многослойной плоской, цилиндрической, шаровой стенках. Теплопередача в однослойной и многослойной плоской, цилиндрической, шаровой стенках. Тепловая изоляция. Выбор теплоизоляционного материала. Теплопередача через ребренную стенку. Теплопроводность при нестационарном тепловом режиме. Расчет и подбор изоляции. Расчет и подбор основного теплового оборудования.

Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:
знать основные понятия и определения теории теплообмена, физическую сущность и виды переноса теплоты, основной закон теплопроводности, влияние температуры на теплопроводность газов, жидкостей и металлов;
уметь применять начальные и граничные условия для дифференциального уравнения теплопроводности

Методические указания

При изучении данной темы необходимо четко уяснить различие процессов переноса теплоты теплопроводностью, конвекцией и излучением, а также физическую сущность понятий «теплоотдача» и «теплопередача». При этом следует иметь в виду, что в чистом виде теплопроводность имеет место только в твердых телах, а конвекция в жидкостях и газах. Теплоотдача является необходимой составной частью теплопередачи и может быть конвективной, лучистой или совместной (сложной). Лучистый теплообмен между телами в отличие от теплопроводности и конвекции может осуществляться и в вакууме, т. е. при отсутствии промежуточной вещественной среды.

Рассматривая теплопроводность различных тел при стационарном режиме, следует обратить внимание на допущения, которые используются при выводе дифференциальных уравнений и получении их решений, позволяющих построить распределение температур по толщине стенки и найти общее количество теплоты, передаваемой через стенку. При изучении

нестационарной теплопроводности необходимо обратить внимание на решение конкретных задач с помощью критериев Био и Фурье, твердо усвоив их физический смысл и влияние на протекание процессов нагревания тел.

Литература: [2], с. 94-111; [3], с. 307-315; [4], с. 45-57;

Вопросы и задания для самопроверки

1. Назовите виды переноса теплоты. В чем их различие?
2. Что называется температурным полем?
3. Дайте определение градиента температуры. Какова его размерность?
4. Сформулируйте основной закон теплопроводности.
5. Что характеризует коэффициент теплопроводности?
6. Как зависит коэффициент теплопроводности от температуры у жидких, твердых и газообразных тел? Какова его размерность?

ТЕМА 3

Конвективный теплообмен

Виды движения теплоносителя. Пограничный слой: тепловой и гидродинамический. Подобие физических процессов. Числа подобия. Критериальные уравнения. Теплообмен при вынужденном движении теплоносителя в трубах. Теплообмен при свободном движении теплоносителя. Теплообмен при изменении агрегатного состояния вещества. Теплоотдача при поперечном отекании труб

Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:

знать определение и виды конвекции, режимы движения теплоносителя, виды кипения и конденсации, влияние различных факторов на теплообмен при свободном и вынужденном движении жидкости, физический смысл основных критериев;

уметь рассчитывать коэффициенты теплоотдачи при различных движениях теплоносителя, при конденсации и кипении, применять основные критериальные зависимости, которые соответствуют конкретному виду задачи.

Методические указания

Из всех видов теплообмена конвективный теплообмен является наиболее сложным для исследования, поскольку при расчетах передачи теплоты конвекцией необходимо знать числовые значения коэффициента теплоотдачи α для каждого конкретного случая. Следует иметь в виду, что роль α не аналогична роли коэффициента теплопроводности в законе Фурье, так как λ является теплофизическим параметром среды, значение которого может быть взято из справочных таблиц. Коэффициент теплоотдачи α представляет собой сложную функцию тепловых и динамических процессов, развивающихся в среде в непосредственной близости от поверхности теплообмена, которая зависит от режима движения теплоносителя, теплофизических свойств теплоносителя и геометрических факторов, связанных с конфигурацией системы конвективного теплообмена. Система уравнений, определяющая конвективный теплообмен, позволяет определить α только для ограниченного числа простейших задач и то с определенными допущениями. В общем случае определение α приводит к необходимости проведения большого числа экспериментов на натурном объекте исследования. Отмеченные трудности устраняются при использовании теории подобия физических процессов, позволяющей проводить исследования на модели, а результаты опытов на модели распространить на все подобные явления. Теория подобия позволяет получить критериальные уравнения для определения коэффициента теплоотдачи. Необходимо четко уяснить физический смысл основных критериев и уметь применять их в составе тех критериальных зависимостей, которые соответствуют конкретной задаче при рассмотрении конвективного теплообмена.

Литература: [2], с. 99-102; [3], с. 348-390; [4], с. 54-61;

Вопросы и задания для самопроверки

1. Что называется конвективным теплообменом?
 2. Сформулируйте основной закон теплоотдачи конвекцией.
 3. Дайте определения динамического и теплового пограничного слоев и объясните их физический смысл.
 4. Назовите виды движения жидкости или газа. Объясните их физический смысл.
 5. Какими числами подобия характеризуется конвективный теплообмен?
 6. Что называется коэффициентом теплоотдачи? Функцией каких параметров он является?
- Каков механизм передачи теплоты при ламинарном и турбулентном движениях жидкости?

ТЕМА 4

Теплообмен излучением.

Основные понятия и определения. Законы теплового излучения. Теплообмен излучением между твердыми телами. Тепловые экраны. Особенности излучения газообразных тел.

Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:

знать принципиальные отличия теплообмена излучением от теплообмена теплопроводностью и конвекцией, законы теплового излучения и границы их применения, особенности излучения газообразных тел;

уметь применять законы теплового излучения к решению конкретных задач.

Методические указания

Рассматривая процессы теплообмена излучением, студент должен особое внимание обратить на количественные соотношения между поглощенной, отраженной и пропущенной через тело энергиями. Для защиты объектов от лучистой энергии необходимо устанавливать тепловые экраны, максимально отражающие лучистую энергию. С целью увеличения эффективности экранов их целесообразно выполнять из материала с малым коэффициентом собственного излучения и повышенной отражательной способностью (алюминий, фольга, белая жесть). При решении конкретных задач лучистого теплообмена необходимо ясно представлять те допущения, которые положены в основу расчета. Для практических расчетов используют принцип независимости конвективного и лучистого потоков, что оказывается верным, если один из них значительно меньше другого.

Литература: [2], с. 102-106; [3], с. 402-421; [4], с. 98-102;

Вопросы и задания для самопроверки

1. Что такое теплообмен излучением? Какова природа энергии излучения?
2. От каких величин зависит эффективность излучения?
3. Перечислите законы теплового излучения.
4. Что характеризует степень черноты?
5. В чём особенность излучения газообразных тел?

ТЕМА 5

Теплообменные аппараты, их виды и расчет

Классификация теплообменных аппаратов, основы теплового расчета теплообменных аппаратов.

Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:

знать классификацию теплообменных процессов и основы их теплового расчета;

уметь проводить тепловой расчет теплообменных аппаратов для нужной технологической линии.

Методические указания

При тепловом расчёте различных теплообменных аппаратов при стационарном режиме, следует обратить внимание на допущения, которые используются при выводе дифференциальных уравнений и получении их решений, позволяющих построить распределение температур по толщине стенки и найти общее количество теплоты, передаваемой через стенку. При оценке целесообразности применения изоляции для уменьшения тепловых потерь следует учесть, что критический диаметр изоляции не зависит от размеров трубопровода и определяется только значениями коэффициентов теплоотдачи от поверхности изоляции. При проектировании теплообменных аппаратов требуется интенсификация теплопередачи, т.е. уменьшение термического сопротивления, что может быть осуществлено увеличением теплопередающей поверхности со стороны наименьшего коэффициента теплоотдачи.

При изучении нестационарной теплопроводности необходимо обратить внимание на решение конкретных задач с помощью критериев Био и Фурье, твердо усвоив их физический смысл и влияние на протекание процессов нагревания тел.

Литература: [1], с. 158-186; [2], с. 201-221; [4], с. 240-302;

Вопросы и задания для самопроверки

1. По каким принципам классифицируют теплообменные аппараты?
2. Как определить температуру между слоями в многослойных плоских и цилиндрических стенках?
3. Что называется критическим диаметром изоляции и как он определяется?
4. Уменьшается ли с увеличением толщины изоляции цилиндрической трубы тепловой поток через нее?

5. Назовите основные параметры теплового расчета теплообменных аппаратов?

ТЕМА 6

Температурный режим скважин и магистральных газопроводов. Особенности теплообмена в добывающей скважине. Температурное поле скважины. Уравнения температурного напора режима нефти и газопроводов. Тепловые потери подземного трубопровода.

Целевая установка

В результате изучения данной темы обучающийся должен:
знать особенности теплообмена в газовых и нефтяных скважинах;
уметь проводить расчет температурного напора режима нефти и газопроводов, расчет тепловых потерь подземных трубопроводов.

Методические указания

При тепловом расчёте температурного напора режима нефти и газопроводов, следует обратить внимание на допущения, которые используются при выводе дифференциальных уравнений и получении их решений, позволяющих построить распределение температур по толщине стенки и найти общее количество теплоты, передаваемой через стенку. При оценке целесообразности применения изоляции для уменьшения тепловых потерь следует учесть, что критический диаметр изоляции не зависит от размеров трубопровода и определяется только значениями коэффициентов теплоотдачи от поверхности изоляции. При проектировании трубопроводов требуется интенсификация теплопередачи, т.е. уменьшение термического сопротивления, что может быть осуществлено увеличением теплопередающей поверхности со стороны наименьшего коэффициента теплоотдачи.

Литература: [1], с. 205-286; [3], с. 187-201; [4], с. 249-318;

Вопросы и задания для самопроверки

1. Каковы особенности теплообмена в добывающей скважине?
2. Какими параметрами определяется температурное поле скважины?
3. Как уменьшить тепловые потери подземного трубопровода?

4. Приведите основные уравнения температурного напора режима газопроводов.