

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Югорский государственный университет» (ЮГУ)
НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ
**(ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(НефтИн (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ»)



ФИЛИАЛ ФГБОУ ВО «ЮГУ»

**НЕФТЯНОЙ
ИНСТИТУТ**

ОП. 07 ТЕРМОДИНАМИКА

**21.00.00 ПРИКЛАДНАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГОРНОЕ ДЕЛО,
НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО И ГЕОДЕЗИЯ**

специальность 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов
и газонефтехранилищ

**Методические указания к выполнению практических занятий
для обучающихся 2 курса всех форм обучения (очная, заочная)
образовательных организаций
среднего профессионального образования**

Нижневартовск, 2023

ББК 31.31

Т 35

РАССМОТРЕНО

На заседании ПЦК «ЭТД»
Протокол № 07 от 15.11.2023
Председатель Давиденко И.В.

УТВЕРЖДЕНО

Председателем методического совета
НефтИн (филиала) ФГБОУ ВО «ЮГУ»
Хайбулина Р.И.
«22» ноября 2023

Методические указания к выполнению практических занятий для обучающихся 2 курса всех форм обучения (очная, заочная) образовательных организаций среднего профессионального образования по ОП.07 Термодинамика специальности 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ (21.00.00 ПРИКЛАДНАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГОРНОЕ ДЕЛО, НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО И ГЕОДЕЗИЯ), разработаны в соответствии с:

1. Федеральным государственным образовательным стандартом по специальности среднего профессионального образования специальность 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ утвержденного МИНОБРНАУКИ РФ 12.05.2014, приказ № 484.

2. Рабочей программой учебной дисциплине ОП. 06 Гидравлика, утвержденной на методическом совете НефтИн (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ» протоколом № 4 от 15.06.2023.

Разработчик:

Тетикли Надежда Михайловна, высшая квалификационная категория, преподаватель нефтяного института (филиала) ФГБОУ ВО «ЮГУ».

Рецензенты:

1. Таранина Л.Г., высшая квалификационная категория, преподаватель нефтяного института (филиала) ФГБОУ ВО «ЮГУ».

2. Аббасова Э.А., начальник производственно-технического отдела управления контроля качества АО «Самотлорнефтегаз».

Замечания, предложения и пожелания направлять в Нефтяной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Югорский государственный университет» по адресу: 628615, Тюменская обл., Ханты-Мансийский автономный округ, г. Нижневартовск, ул. Мира, 37.

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания к выполнению практических занятий соответствует Федеральным государственным образовательным стандартам (далее ФГОС) по специальности среднего профессионального образования специальность 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ.

Цель методических указаний: закрепление полученных теоретических знаний, приобретение расчетных навыков и навыков работы со схемами, таблицами. Представленные задачи могут быть использованы для самостоятельной работы обучающихся.

Комплекс практических занятий по учебной дисциплине ОП. 07 Термодинамика является частью подготовки специалистов среднего звена (СПССЗ) по специальности 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ.

Рабочей программой учебной дисциплине ОП. 07 Термодинамика, устанавливающей базовые знания для освоения других специальных дисциплин.

Комплекс практических занятий по учебной дисциплине ОП. 07 Термодинамика предусматривает изучение основных законов термодинамики, разделов технической термодинамики и теплопередачи.

В результате освоения рабочей программой учебной дисциплине ОП. 07 Термодинамика, студент **должен**

уметь:

- определять причины изменения и отклонения от нормативных (допустимых) величин эксплуатационных параметров работы оборудования;

- анализировать информацию о балансе и запасах углеводородов на станциях хранения;

знать:

- методы регулирования насосов и компрессорных машин;

- эксплуатационные характеристики ГТУ при работе на газопроводах, вспомогательное оборудование и различные системы газотурбинных газоперекачивающих агрегатов (далее – ГПА);

- технологические процессы закачки, отбора и хранения газа, нефти и нефтепродуктов из хранилища и правила эксплуатации;

- порядок отбора проб нефти и нефтепродуктов, поступающих в МН и МНПП;

- методы и методики проведения испытаний нефти, нефтепродуктов, поступающих в МН и МНПП, с целью определения показателей качества.

Данные методические указания разработаны с целью оказания помощи студентам всех форм обучения среднего специального заведения при организации их самостоятельной работы по овладению системой знаний, умений и навыков, решения технологических задач.

Цель методической разработки: закрепление полученных теоретических знаний, приобретение расчетных навыков и навыков работы с графиками, схемами, таблицами.

Формируемые общие и профессиональные компетенции:

| Код | Наименование результата обучения |
|--------|--|
| ПК 2.4 | Осуществлять мониторинг показателей качества газа, нефти и нефтепродуктов на объектах трубопроводного транспорта, хранения, распределения. |
| ОК 1. | Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам. |
| ОК 2. | Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации, и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности. |
| ОК 3. | Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие, предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере, использовать знания по финансовой грамотности в различных жизненных ситуациях. |
| ОК 4. | Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде. |
| ОК 5. | Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста. |
| ОК 6. | Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей, в том числе с учетом гармонизации межнациональных и межрелигиозных отношений, применять стандарты антикоррупционного поведения. |
| ОК 7. | Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, применять знания об изменении климата, принципы бережливого производства, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях. |
| ОК 8. | Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности. |
| ОК 9. | Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках. |

Критерии и оценки практических занятий:

| Оценка | Описание оценок |
|--------|--|
| 5 | Отлично- «5» - содержание материала освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения большинства из них оценено числом баллов, близким к максимальному. |
| 4 | Хорошо-«4» - содержание материала освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые виды заданий выполнены с ошибками. |
| 3 | Удовлетворительно-«3» - содержание материала освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий |

| | |
|---|---|
| | выполнено, некоторые из выполненных заданий, содержат ошибки. |
| 2 | Условно неудовлетворительно- «2» - содержание материала освоено частично, необходимые практические навыки работы не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, либо качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному; при дополнительной самостоятельной работе над материалом курса возможно повышение качества выполнения учебных заданий. |

ТЕМАТИКА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

| Номер темы | Номер и наименование занятия | Кол-во аудиторных часов | Общие и профессиональные компетенции |
|--------------|---|-------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1.1 | Практическое занятие № 1. Применение газовых законов при решении задач | 2 | ОК. 1-6; ПК 2.1 |
| | Практическое занятие № 2. Определение массового состава смеси | 2 | ОК. 1-6; ПК 2.1 |
| 1.3 | Практическое занятие № 3. Расчёт цикла Карно | 2 | ОК. 1-6; ПК 2.1 |
| 1.4 | Практическое занятие № 4. Расчёт параметров состояния рабочего тела в изопроцессах | 2 | ОК. 1-6; ПК 2.1 |
| Всего | | 8 | |
| 2.1 | Практическое занятие № 5. Расчёт теплообменного аппарата | 2 | ОК. 1-6; ПК 2.1 |
| 2.2 | Практическое занятие № 6. Применение закона Фурье при решении задач | 2 | ОК. 1-6; ПК 2.1 |
| 2.4 | Практическое занятие № 7. Расчёт топлива в процессе горения | 2 | ОК. 1-6; ПК 2.1 |
| 2.5 | Практическое занятие № 8. Расчёт КПД котельного агрегата, эффективной мощности дизеля, расход топлива | 2 | ОК. 1-6; ПК 2.1 |
| Всего | | 8 | |
| Итого | | 16 | |

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОВЫХ ЗАКОНОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Цель: формировать умения (производить расчеты требуемых физических величин в соответствии с законами и уравнениями термодинамики) к освоению дисциплины ОП. 07 Термодинамика ППСЗ и овладению профессиональными компетенциями:

ПК 2.1. Обеспечивать проведение технологического процесса трубопроводного транспорта, хранения и распределения газа, нефти и нефтепродуктов.

Задание:

1. Изучить общие сведения
2. Решить задачи с применением основных газовых законов по методическим указаниям к выполнению работы, исходные данные в таблице 1.1, 1.2, 1.3. Номер варианта определяется по номеру в списке группы.
3. По контрольным вопросам подготовиться к защите.
4. Выполнить контрольный тест.

Общие сведения:

Все газовые законы отражают состояние идеальных газов.

Идеальный газ – это газ, имеющий объем молекул равный нулю, не имеющий сил межмолекулярного взаимодействия и подчиняющийся уравнению Менделеева-Клайперона.

Уравнение Менделеева-Клайперона отражает взаимосвязь между основными параметрами состояния рабочего тела. Уравнение может быть записано в следующем виде:

$$P \cdot V = G \cdot R \cdot T \quad (1.1)$$

- где **P** - абсолютное давление газа, МПа;
V - объем газа, м³;
G - масса газа, кг;
R - удельная газовая постоянная, Дж/кг·°С;
T - абсолютная температура идеального газа, °К;

В настоящее время можно утверждать, что ни один из реальных газов не подчиняется газовым законам. Тем не менее, эти специфические газовые законы в термодинамике сохранены, и учение об идеальных газах широко используется в технике, эти законы несложны и достаточно хорошо характеризуют поведение реальных газов при невысоких давлениях и не очень низких температурах, вдали от областей насыщения и критической точки.

Закон Бойля (1662 г.) - Мариотта (1676 г.) - при постоянной температуре ($t = \text{const}$) произведение абсолютного давления и удельного объема идеального газа сохраняет неизменную величину ($Pv = \text{const}$).

$$P \cdot v = \text{const} \quad (1.2)$$

$$P \cdot v = f(t)$$

Закон Гей-Люссака (1802 г.) - при постоянном давлении ($p = \text{const}$) объем идеального газа изменяется прямо пропорционально повышению температуры.

$$v = v_0(1 + \alpha \cdot t) \quad (1.3)$$

- где ν_0 - удельный объем газа при температуре $t^{\circ}\text{C}$ и давлении P , $\text{м}^3/\text{кг}$;
 α - температурный коэффициент объемного расширения идеальных газов при 0°C , $1/273 \text{ K}^{-1}$;
 t - температура газа, $^{\circ}\text{C}$.

Задание:

Решить следующие задачи, применяя знания, полученные при изучении законов идеальных газов.

Задача 1.

Дымовые газы, образовавшиеся в топке парового котла, охлаждаются с t_1 до t_2 . Во сколько раз уменьшится их объём, если давление газа в начале и конце газохода одинаково. Исходные данные приведены в таблице 1.1.

Задача 2.

В баллоне содержится газ известной массы при определенном давлении и температуре. Какова вместимость баллона при данных условиях согласно варианта? Исходные данные приведены в таблице 1.2; 1.3.

Таблица 1.1 - Исходные данные

| Параметры | Варианты | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| начальная температура t_1 , $^{\circ}\text{C}$ | 1200 | 1100 | 1250 | 1310 | 1340 | 950 | 1375 | 1382 | 1231 | 1189 | 1174 | 1131 | 1000 | 1230 | 1150 |
| конечная температура t_2 , $^{\circ}\text{C}$ | 205 | 215 | 210 | 185 | 190 | 173 | 169 | 178 | 200 | 210 | 230 | 242 | 213 | 165 | 194 |
| Параметры | Варианты | | | | | | | | | | | | | | |
| | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| начальная температура t_1 , $^{\circ}\text{C}$ | 1150 | 1160 | 1170 | 1205 | 1220 | 1315 | 1415 | 1350 | 1362 | 1470 | 1520 | 1290 | 1300 | 990 | 1400 |
| конечная температура t_2 , $^{\circ}\text{C}$ | 110 | 115 | 120 | 130 | 140 | 125 | 135 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 220 | 230 | 250 |

Таблица 1.2 - Исходные данные

| Вариант | Параметр | | | |
|---------|-------------------|---------------------|-------------------------|--|
| | Наименование газа | масса газа G , кг | давление газа P , МПа | начальная температура t_1 , $^{\circ}\text{C}$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Кислород | 1,2 | 8,3 | 15 |
| 2 | Воздух | 2 | 7,7 | 13 |
| 3 | Водород | 3 | 7,9 | 12 |
| 4 | Азот | 4 | 8,5 | 14 |
| 5 | Оксид углерода | 2,1 | 9,1 | 15 |
| 6 | Гелий | 2,6 | 7,3 | 20 |
| 7 | Метан | 3,2 | 9,7 | 25 |
| 8 | Диоксид углерода | 3,7 | 10 | 29 |
| 9 | Кислород | 1,7 | 9,2 | 30 |
| 10 | Азот | 4,2 | 10,5 | 32 |
| 11 | Метан | 4,6 | 11,2 | 28 |
| 12 | Воздух | 5,1 | 5,6 | 39 |
| 13 | Гелий | 5,5 | 6,7 | 42 |

| | | | | |
|----|------------------|------|------|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 14 | Кислород | 2,9 | 7,7 | 45 |
| 15 | Метан | 3,9 | 9,1 | 52 |
| 16 | Оксид углерода | 4,2 | 5,5 | 19 |
| 17 | Гелий | 4,5 | 5 | 53 |
| 18 | Азот | 4,7 | 6 | 55 |
| 19 | Кислород | 5,1 | 7 | 19 |
| 20 | Метан | 5,9 | 11,5 | 62 |
| 21 | Диоксид углерода | 6,3 | 10,4 | 75 |
| 22 | Воздух | 6,7 | 9,9 | 81 |
| 23 | Гелий | 6,9 | 10,7 | 20 |
| 24 | Азот | 7,1 | 10,9 | 44 |
| 25 | Кислород | 7,3 | 12 | 10 |
| 26 | Оксид углерода | 8,5 | 12,1 | 5 |
| 27 | Метан | 8,2 | 13 | 90 |
| 28 | Азот | 9 | 14,1 | 96 |
| 29 | Водород | 11 | 13,8 | 53 |
| 30 | Гелий | 10,6 | 15 | 106 |

Таблица 1.3 – Значения молярной массы веществ

| № п/п | Вещество | Обозначение | Молярная масса μ , кг/кмоль |
|-------|------------------|-----------------|---------------------------------|
| 1 | Водород | H ₂ | 2,016 |
| 2 | Гелий | He | 4,003 |
| 3 | Метан | CH ₄ | 16,043 |
| 4 | Азот | N ₂ | 28,013 |
| 5 | Оксид углерода | CO | 28,011 |
| 6 | Воздух | - | 28,97 |
| 7 | Кислород | O ₂ | 32 |
| 8 | Диоксид углерода | CO ₂ | 44,011 |

Методические указания:

1. Перед решением предложенных задач, необходимо все физические величины перевести в систему СИ.

2. Из таблицы 1.3 в исходные данные добавить соответствующие молярные массы газов и определить удельную газовую постоянную (задача №2).

$$R = \frac{\bar{R}}{\mu}, \text{ Дж/кг}\cdot\text{°K} \quad (1.4)$$

где \bar{R} - универсальная газовая постоянная, 8314 Дж/кмоль·°K;

μ - молярная масса газа, кг/кмоль.

3. Перед решением, задач определить какому газовому закону соответствует каждая задача, и использовать его для решения.

4. Сделать вывод.

5. Выполнить контрольный тест.

Контрольный тест:

1. Имеется ли разница между показаниями температуры $T = 314 \text{ }^{\circ}\text{K}$ и $t = 314 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ответ: а) $T < t$; б) $T > t$; в) $T = t$.

2. Почему в качестве рабочего тела в термодинамике используются пары и газы?

Ответ:

а) газы (пары) имеют высокие теплоёмкости;

б) газы при изменении температуры и давления могут значительно изменять свой объём;

в) газы способны выдерживать большие температуры, чем жидкости и твёрдые тела.

3. Почему молярная газовая постоянная называется универсальной?

Ответ:

а) при помощи неё можно определить удельную газовую постоянную;

б) она для всех идеальных газов постоянна и равна $8314 \text{ Дж/кмоль}\cdot^{\circ}\text{K}$;

в) она применима и для реальных газов.

4. Как записывается уравнение Менделеева-Клапейрона?

Ответ:

а) $PV = GRT$, б) $p\nu = GRT$; в) $PV = \mu RT$.

5. Назови единицу измерения количества вещества.

Ответ:

а) моль; б) кг; в) м^3

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОГО СОСТАВА ГАЗОВОЙ СМЕСИ

Цель: формировать умения (определять состав смеси через нахождение массовой концентрации веществ, производить расчеты требуемых физических величин в соответствии с законами и уравнениями термодинамики) к освоению дисциплины ОП.07 Термодинамика ППСЗ и овладению профессиональными компетенциями:

ПК 2.1. Обеспечивать проведение технологического процесса трубопроводного транспорта, хранения и распределения газа, нефти и нефтепродуктов.

Общие сведения:

В термодинамике часто пользуются понятием чистого вещества и смеси. Под чистым веществом понимают вещество, все молекулы которого одинаковы. Например, вода, азот, аммиак, углекислый газ.

Смесь состоит уже из чистых веществ, химически не взаимодействующих друг с другом. Примером смеси может служить воздух, природный газ, продукты сгорания топлива, пары воды.

Важнейшей характеристикой смеси является её состав. Состав смеси обычно определяют посредством нахождения концентрации компонентов, входящих в смесь,

Массовая концентрация — это отношения массы i -го компонента к массе всей смеси.

$$m_i = \frac{G_i}{G} \quad (2.1)$$

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n = \sum_{i=1}^{i=n} G_i \quad (2.2)$$

где G_i - масса данного компонента, кг;
 G - масса смеси в целом, кг.

Мольная концентрация – это отношение числа молей i -го компонента к общему числу молей смеси.

$$r_i = \frac{\bar{G}_i}{\bar{G}} \quad (2.3)$$

$$\bar{G} = \bar{G}_1 + \bar{G}_2 + \bar{G}_3 + \dots + \bar{G}_n = \sum_{i=1}^{i=n} \bar{G}_i \quad (2.4)$$

где \bar{G}_i - количество молей данного компонента, моль;
 \bar{G} - количество молей смеси в целом, моль.

Задание:

1. Изучить общие сведения
2. Определить массовый состав смеси после удаления перегородки по методическим указаниям к выполнению работы, исходные данные в таблице 2.1, 2.2. Номер варианта определяется по номеру в списке группы.
3. По контрольным вопросам подготовиться к защите.
4. Выполнить контрольный тест.

Условие:

Ёмкость разделена перегородкой на две полости. С одной стороны - азот при определенном давлении, температуре объёма, с другой - углекислый газ, имеющий свои параметры. Определить массовый состав смеси после удаления перегородки. Исходные данные приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Исходные данные

| Параметр | Вариант | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| P_{N_2} , МПа | 1,2 | 0,8 | 1 | 1,1 | 0,9 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,2 | 0,8 | 0,7 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 |
| t_{N_2} , °С | 47 | 77 | 50 | 63 | 45 | 57 | 60 | 70 | 73 | 75 | 80 | 84 | 87 | 45 | 56 |
| V_{N_2} , м ³ | 0,4 | 0,7 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 0,8 | 1,3 | 1,4 | 0,8 | 0,9 | 1,2 |
| P_{CO_2} , МПа | 0,7 | 0,3 | 1,1 | 1,3 | 1 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 1,9 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 1,7 | 2 | 2,2 |
| t_{CO_2} , °С | 17 | 20 | 15 | 16 | 19 | 21 | 23 | 19 | 18 | 16 | 24 | 26 | 30 | 31 | 34 |
| V_{CO_2} , м ³ | 0,6 | 0,3 | 0,7 | 0,5 | 0,9 | 1 | 1,1 | 0,6 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 0,8 | 1,3 | 1,2 | 0,8 |

| Параметр | Вариант | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| P_{N_2} , МПа | 1,3 | 0,9 | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 1 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 0,4 | 0,8 | 0,9 |
| t_{N_2} , °С | 42 | 48 | 37 | 24 | 40 | 25 | 35 | 52 | 57 | 61 | 68 | 70 | 73 | 78 | 81 |
| V_{N_2} , м ³ | 0,3 | 0,6 | 0,4 | 0,7 | 0,1 | 0,5 | 0,8 | 0,9 | 1 | 0,2 | 1,1 | 1,4 | 1,2 | 1,3 | 1 |
| P_{CO_2} , МПа | 0,8 | 1,1 | 0,9 | 1,2 | 1 | 0,7 | 0,6 | 0,9 | 1,2 | 1,3 | 0,8 | 0,7 | 1,5 | 1,8 | 1,9 |
| t_{CO_2} , °С | 16 | 19 | 10 | 12 | 14 | 17 | 19 | 21 | 22 | 23 | 25 | 13 | 33 | 35 | 41 |
| V_{CO_2} , м ³ | 0,5 | 0,7 | 0,4 | 0,6 | 0,9 | 0,7 | 0,8 | 1,1 | 1,2 | 0,6 | 1,3 | 1,5 | 1,2 | 0,8 | 0,9 |

Таблица 2.2 – Значение удельной газовой постоянной

| Вещество | CO ₂ | H ₂ | He | N ₂ | CO | Воздух | O ₂ |
|--------------------------------|-----------------|----------------|--------|----------------|-------|--------|----------------|
| Газовая постоянная, в Дж/кг °К | 189,9 | 4124,3 | 2077,2 | 296,8 | 296,8 | 287 | 259,8 |

Методические указания:

1. Перед решением предложенных задач, необходимо все физические величины перевести в систему СИ.

2. Из таблицы 1.3 в исходные данные добавить соответствующие удельные газовые постоянные (ПЗ №1).

3. Используя уравнение Менделеева-Клайперона, определить массу для каждого газа.

$$PV = GRT \quad (2.5)$$

- где P - абсолютное давление газа, МПа;
 V - объём газа, м³;
 G - масса газа, кг;
 R - удельная газовая постоянная газа; Дж/кг °С;
 T - абсолютная температура идеального газа, °К.

4. Определить массу смеси, состоящую из данных газов.

$$G = G_{N_2} + G_{CO_2}, \text{ кг} \quad (2.6)$$

- где G_{N_2} - масса азота, кг;
 G_{CO_2} - масса углекислого газа, кг;

5. Определить массовые концентрации для азота и углекислого газа.

$$m_{N_2} = \frac{G_{N_2}}{G} \quad (2.7)$$

- где G_{N_2} - масса азота, кг;
 G - масса смеси, кг.

$$m_{CO_2} = \frac{G_{CO_2}}{G} \quad (2.8)$$

- где G_{CO_2} - масса углекислого газа, кг;
 G - масса смеси, кг.

6. Определить температуру смеси:

$$T_m = \frac{G_{N_2} \cdot T_{N_2} + G_{CO_2} \cdot T_{CO_2}}{G}, \text{ } ^\circ\text{K} \quad (2.9)$$

- где T_{CO_2} - температура углекислого газа, $^\circ\text{K}$;
 T_{N_2} - температура азота, $^\circ\text{K}$;
 G_{N_2} - масса азота, кг;
 G_{CO_2} - масса углекислого газа, кг;
 G - масса смеси, кг.

7. Определить удельную газовую постоянную смеси

$$R_m = R_{N_2} \cdot m_{N_2} + R_{CO_2} \cdot m_{CO_2}, \text{ Дж/кг } ^\circ\text{K} \quad (2.10)$$

- где m_{N_2} - массовая концентрация азота;
 m_{CO_2} - массовая концентрация углекислого газа;
 R_{CO_2} - удельная газовая постоянная углекислого газа; Дж/кг $^\circ\text{C}$;
 R_{N_2} - удельная газовая постоянная азота; Дж/кг $^\circ\text{C}$.

8. Определить молярную массу смеси:

$$\mu_m = \frac{1}{\frac{m_{N_2}}{\mu_{N_2}} + \frac{m_{CO_2}}{\mu_{CO_2}}}, \text{ кг/кмоль} \quad (2.11)$$

- где m_{N_2} - массовая концентрация азота;
 m_{CO_2} - массовая концентрация углекислого газа;
 μ_{CO_2} - молярная масса углекислого газа; кг/кмоль;
 μ_{N_2} - молярная масса азота; кг/кмоль.

9. Сделать вывод

Контрольный тест:

1. Выбери правильный ответ: Моль — это...

- а) количество молекул вещества на 1 см² поверхности;
 б) количество вещества в граммах равное его молярной массе;
 в) число атомов, определяющих агрегатное состояние вещества.

2. Выберите соответствующие термины между левым и правым

столбцами:

| | |
|---------------------------|--|
| Смесь – это | а) несколько активных веществ; б) несколько чистых веществ, взаимодействующих между собой; в) несколько чистых веществ, химически не взаимодействующих друг с другом; г) воздух, природный газ. |
| Молярная масса – это | а) число молей вещества; б) отношение числа молей к массе вещества; в) отношение массы вещества к количеству молей. |

3. Как записывается закон Дальтона?

- а) $PV = GRT$, б) $P_i = r_i \cdot p_i$, в) $pV = \text{const}$.

4. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Назвать условие существования газовой смеси.
2. Дать определение массовой и мольной концентрации вещества
3. Записать формулы, определяющие молярную массу смеси.
4. Сформулируйте закон Дальтона.
5. Что такое чистое вещество?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

РАСЧЕТ ЦИКЛЫ КАРНО

Цель: формировать умения (определять основные параметры во всех точках цикла, производить расчеты требуемых физических величин в соответствии с законами и уравнениями термодинамики) к освоению дисциплины ОП. 07 Термодинамика ППСЗ и овладению профессиональными компетенциями:

ПК 2.1. Обеспечивать проведение технологического процесса трубопроводного транспорта, хранения и распределения газа, нефти и нефтепродуктов.

Задание:

1. Изучить общие сведения
2. Рассчитать цикл Карно, совершаемый 1 кг газа, если известно P_1 , t_1 , P_3 , t_3 . Исходные данные для расчета даны в таблице 5.1 Номер варианта определяется по номеру в списке группы:

- если последняя цифра 0,1, то вариант 1;
- если последняя цифра 2, то вариант 2;
- если последняя цифра 3, то вариант 3;
- если последняя цифра 4,5, то вариант 4;
- если последняя цифра 6,7, то вариант 5;
- если последняя цифра 8,9, то вариант 6;

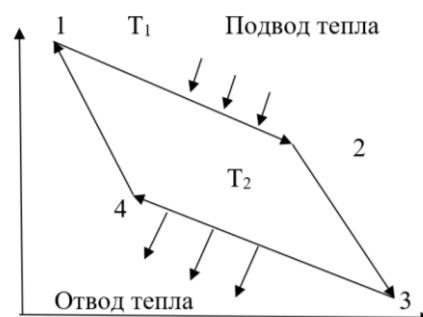
3. По контрольным вопросам подготовиться к защите.

Общие сведения:

В 1894г. Французский инженер Карно предложил обратный цикл тепловых машин, осуществляемых между двумя источниками постоянных температур – нагревателем T_1 и холодильником T_2 . В качестве рабочего тела в цикле используется идеальный газ. На всех стадиях присутствует одно и то же количество газа.

Участок 1-2: $T_1 = \text{const}$. Подводится к рабочему телу с T_1 теплота от горячего источника. Рабочее тело расширяется, совершая полезную работу.

Участок 2-3: $q=0$. Расширение рабочего тела осуществляется по



адиабате, при этом температура снижается до T_2 .

Участок 3-4: $T_2 = \text{const}$. Рабочее тело начинает сжиматься за счет отвода тепла к холодному источнику.

Участок 4-1: $q=0$. Адиабатное сжатие рабочего тела с повышением температуры до T_1 .

Задача теплового расчета поршневых ДВС (двигатель внутреннего сгорания) – определение параметров состояния рабочего тела в характерных точках цикла, нахождение среднего индикаторного давления.

Среднее индикаторное давление P_i – это условное постоянное давление, которое действует на поршень в течении хода расширения, совершает работу, равную индикаторной работе двигателя L_i .

Эффективная мощность N_i – это работа газов в единицу времени в цилиндре двигателя.

Эффективная мощность на валу двигателя N_e , меньше N_i на величину механических потерь N_m .

Условие: Рассчитать цикл Карно, совершаемый 1 кг газа, если известно P_1, t_1, P_3, t_3 . Исходные данные для расчета даны в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Исходные данные для расчета.

| Варианты | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------|-----------------|----------------|--------|----------------|----------------|----------------|
| Газ | N ₂ | O ₂ | H ₂ | CO | CO ₂ | O ₂ | воздух | N ₂ | H ₂ | O ₂ |
| $t_1, ^\circ\text{C}$ | 317 | 250 | 657 | 297 | 307 | 250 | 617 | 240 | 230 | 470 |
| $t_3, ^\circ\text{C}$ | 17 | 30 | 57 | 10 | 7 | 30 | 37 | 20 | 10 | 33 |
| $P_1, \text{МПа}$ | 2 | 1 | 5,6 | 1,7 | 1,8 | 1 | 6 | 0,9 | 0,8 | 6,5 |
| $P_3, \text{МПа}$ | 0,12 | 0,12 | 0,1 | 0,1 | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,1 | 0,9 | 0,1 |
| k | 1,4 | 1,39 | 1,38 | 1,38 | 1,39 | 1,39 | 1,4 | 1,38 | 1,4 | 1,4 |
| $R, \text{Дж/кг } ^\circ\text{K}$ | 296,8 | 259,8 | 4124,3 | 296,8 | 189,9 | 259,8 | 287 | 296,8 | 4124,3 | 259,8 |

Методические указания к решению задачи:

1. Используя уравнение Менделеева-Клайперона $PV = GRT$, определить объем газа в точках 1 и 3.

$$V_1 = \frac{RT_1}{P_1}; \text{м}^3 \quad (3.1)$$

$$V_3 = \frac{RT_3}{P_3}; \text{м}^3 \quad (3.2)$$

$$T_1 = T_2; \quad T_3 = T_4$$

где V_1, V_3 – объем газа в точках 1 и 3, м³;
 T_1, T_2, T_3, T_4 – абсолютная температура в точках 1,2,3,4 соответственно, °K;
 R – газовая постоянная, Дж/кг °K.

2. Определить объем газа в точках 2 и 4, зная, что здесь идет адиабатный процесс (процесс 2-3 и 4-1).

$$V_2 = V_3 \cdot \frac{T_3}{T_2}; \text{ м}^3 \quad (3.3)$$

$$V_4 = V_1 \cdot \frac{T_1}{T_4}; \text{ м}^3 \quad (3.4)$$

где V_1, V_3 - объем газа в точках 1 и 3, м^3 ;
 T_1, T_2, T_3, T_4 - абсолютная температура в точках 1, 2, 3, 4 соответственно, $^\circ\text{К}$.

3. Так как процесс 1-2 изотермический, определить давление в точке 2 используя закон Бойля-Мариотта $P_1 V_1 = P_2 V_2$.

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{V_2}; \text{ Па} \quad (3.5)$$

где V_1, V_2 - объем газа в точках 1 и 2, м^3 ;
 P_1 - давление в точке 1, Па.

4. Используя уравнение Менделеева-Клайперона $PV = GRT$, определить давление в точке 4.

$$P_4 = \frac{R \cdot T_4}{V_4}; \text{ Па} \quad (3.6)$$

где V_4 - объем газа в точке 4, м^3 ;
 T_4 - абсолютная температура в точке 4, $^\circ\text{К}$;
 R - газовая постоянная, Дж/кг $^\circ\text{К}$.

5. Определить термический КПД цикла Карно.

$$\eta_t = 1 - \frac{T_3}{T_1}; \quad (3.7)$$

где T_1, T_3 - абсолютная температура в точках 1 и 3, $^\circ\text{К}$.

6. Определить удельное подведенное количество теплоты в процессе 1-2, определить отведенное количество теплоты в процессе 3-4, т.к. процесс изотермический, то теплота равна совершенной работе.

$$q_1 = R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{V_1}{V_2}; \text{ Дж/кг} \quad (3.8)$$

где V_1, V_2 - объем газа в точках 1 и 2, м^3 ;
 T_1 - абсолютная температура в точке 1, $^\circ\text{К}$;
 R - газовая постоянная, Дж/кг $^\circ\text{К}$;
 \ln - натуральный логарифм.

7. Определить массу газа в процессе 1-2.

$$G_1 = \frac{P_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1}; \text{кг} \quad (3.9)$$

где V_1 - объем газа в точке 1, м³;
 T_1 - абсолютная температура в точке 1, °К;
 P_1 - давление в точке 1, Па;
 R - газовая постоянная, Дж/кг °К.

8. Определить общее количество теплоты в процессе 1-2.

$$Q_1 = q_1 \cdot G_1; \text{Дж/кг} \quad (3.10)$$

где q_1 - удельное подведенное количество теплоты в процессе 1-2, Дж/кг;
 G_1 - масса газа в процессе 1-2, кг.

9. Определить удельное отведенное количество теплоты в процессе 3-4, т.к. процесс изотермический, то теплота равна совершенной работе.

$$q_2 = R \cdot T_3 \cdot \ln \frac{V_3}{V_4}; \text{Дж/кг} \quad (3.11)$$

где V_3, V_4 - объем газа в точках 3 и 4, м³;
 T_3 - абсолютная температура в точке 3, °К;
 R - газовая постоянная, Дж/кг °К;
 \ln - натуральный логарифм.

10. Определить массу газа в процессе 3-4.

$$G_2 = \frac{P_2 \cdot V_2}{R \cdot T_2}; \text{кг} \quad (3.12)$$

где V_2 - объем газа в точке 2, м³;
 T_2 - абсолютная температура в точке 2, °К;
 P_2 - давление в точке 2, МПа;
 R - газовая постоянная, Дж/кг °К.

11. Определить общее количество теплоты в процессе 3-4.

$$Q_2 = q_2 \cdot G_2; \text{Дж/кг} \quad (3.13)$$

где q_2 - удельное подведенное количество теплоты в процессе 3-4, Дж/кг;
 G_2 - масса газа в процессе 3-4, кг.

12. Определить работу в процессе.

$$L_{1,2} = Q_1 - Q_2; \text{Дж} \quad (3.14)$$

- где Q_1 - общее количество теплоты в процессе 1-2, Дж/кг;
 Q_2 - общее количество теплоты в процессе 3-4, Дж/кг.

Если $L_{1,2} > 0$, то расчет произведен для теплового двигателя.

Если $L_{1,2} < 0$ – холодильная установка.

13. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Что представляет собой обратный цикл Карно.
2. Что называется круговым процессом.
3. Дайте определение среднего индикаторного давления.
4. Какова задача теплового расчета поршневых ДВС.
5. Дайте определение, что такое топливо, рабочее тело, сухая масса.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕГО ТЕЛА В ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Цель: формировать умения (определять параметры состояния в зависимости от вида термодинамического процесса, производить расчеты требуемых физических величин в соответствии с законами и уравнениями термодинамики) к освоению дисциплины ОП. 07 Термодинамика ППСЗ и овладению профессиональными компетенциями:

ПК 2.1. Обеспечивать проведение технологического процесса трубопроводного транспорта, хранения и распределения газа, нефти и нефтепродуктов.

Задание:

1. Изучить общие сведения
2. Определить конечное давление, начальный и конечный объём, работу и теплоту в данном процессе, исходные данные в таблице 4.1, 4.2. Номер варианта определяется по номеру в списке группы.
3. По контрольным вопросам подготовиться к защите.

Общие сведения:

Изохорный процесс - такое изменение состояния тела, при котором удельный объём остаётся постоянным. Параметры состояния идеального газа па изохоре связаны между собой соотношением:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (4.1)$$

Удельная термодинамическая работа в изохорном процессе равна нулю:

$$L_{1,2} = P_m (V_2 - V_1) = 0 \quad (4.2)$$

Изобарный процесс - такое изменение состояния тела, при котором,

давление остаётся постоянным. Параметры состояния идеального газа на изобаре связаны между собой соотношением:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (4.3)$$

Удельная термодинамическая работа в изобарном процессе равна нулю:

$$L_{1,2} = P (V_2 - V_1) \quad (4.4)$$

Изотермический процесс - такое изменение состояния тела, при котором температура остаётся постоянным. Параметры состояния идеального газа связаны между собой соотношением:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = \text{const} \quad (4.5)$$

Удельная термодинамическая работа в изотермическом процессе равна удельной, потенциальной работе:

$$L_{1,2} = W_{1,2} \quad (4.6)$$

Задача 1. При изотермическом нагревании газа данной массы его объём увеличивается в n раз. Начальное давление газа известно. Определить конечное давление, начальный и конечный объём, работу и теплоту в данном процессе. Исходные данные приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Исходные данные

| Параметр | Вариант | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------------|----------------|-----------------|------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Газ | N ₂ | O ₂ | H ₂ | CO | CO ₂ | воз | O ₂ | H ₂ | N ₂ | CO ₂ | CO ₂ | воз | H ₂ | N ₂ |
| t, °C | 27 | 15 | 17 | 18 | 20 | 23 | 25 | 28 | 31 | 32 | 35 | 41 | 26 | 34 |
| P ₁ , МПа | 7 | 4,5 | 5,3 | 7,4 | 8,1 | 6,7 | 5,5 | 6,3 | 7,7 | 8,1 | 8,4 | 8,7 | 7 | 5 |
| n | 5 | 4 | 3 | 2 | 7 | 6 | 3 | 6 | 7 | 2 | 4 | 5 | 2 | 3 |
| G, кг | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,6 | 0,01 | 0,09 | 0,7 | 0,2 | 0,2 | 0,9 | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 0,7 |
| Параметр | Вариант | | | | | | | | | | | | | |
| | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| Газ | CO | O ₂ | CO ₂ | возд | N ₂ | H ₂ | O ₂ | возд | H ₂ | CO ₂ | CO | O ₂ | H ₂ | N ₂ |
| t, °C | 46 | 30 | 20 | 21 | 33 | 27 | 32 | 44 | 49 | 56 | 28 | 62 | 65 | 67 |
| P ₁ , МПа | 4,9 | 8,8 | 9 | 9,1 | 8,2 | 8,9 | 9,2 | 9,4 | 9,9 | 10 | 10,2 | 9,1 | 8,3 | 10,2 |
| n | 4 | 7 | 6 | 5 | 2 | 4 | 3 | 2 | 6 | 4 | 3 | 6 | 7 | 4 |
| G, кг | 0,2 | 0,16 | 0,1 | 0,7 | 0,6 | 0,27 | 0,04 | 0,9 | 0,2 | 0,3 | 0,06 | 0,5 | 0,41 | 0,4 |

Методические указания к задаче 1:

1. Определить начальный объём газа из уравнения Менделеева-Клайперона:

$$P \cdot V = GRT \quad (4.7)$$

- где **P** - абсолютное давление газа, МПа;
V - объем газа, м³;
G - масса газа, кг;
R - удельная газовая постоянная, Дж/кг·°С (ПЗ№2);
T - абсолютная температура идеального газа, °К

2. Определить конечный объем газа зная, что от первоначального объема он увеличивается в *n* раз.

3. Используя закон Бойля-Мариотта, определить конечное давление:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \quad (4.8)$$

4. Термодинамическая работа в изотермическом процессе определяется по формуле:

$$L_1 = GRT \cdot \ln \frac{V_1}{V_2}, \text{ Дж} \quad (4.9)$$

Задача 2. В баллоне емкостью V_1 находится газ при давлении P_1 и температуре T_1 . Давление окружающей среды P_2 . определить работу, которая может быть произведена содержащимся в баллоне газом при его расширении до давления окружающей среды по изотерме и адиабате. Найти минимальную температуру, которую будет иметь газ, в баллоне, если открыть вентиль и выпустить газ до тех пор, пока давление в нем не станет равным давлению окружающей среды при условии, что теплообмен газа окружающей средой отсутствует. Исходные данные приведены в таблице 4.2.

Таблице 4.2 - Исходные данные

| Параметр | Вариант | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Газ | N ₂ | O ₂ | H ₂ | CO | CO ₂ | возд | O ₂ | H ₂ | N ₂ | CO ₂ | CO | возд | H ₂ |
| t ₁ , °С | 30 | 95 | 170 | 180 | 20 | 203 | 250 | 208 | 301 | 320 | 350 | 401 | 206 |
| P ₁ , МПа | 6 | 7,5 | 5,1 | 7,0 | 6,1 | 6,7 | 5,5 | 6,3 | 3,7 | 8,1 | 6,4 | 8,7 | 7 |
| V ₁ , л | 100 | 400 | 300 | 200 | 70 | 60 | 30 | 600 | 700 | 120 | 400 | 50 | 200 |
| P ₂ , МПа | 0,5 | 2 | 0,2 | 6 | 0,1 | 0,9 | 0,7 | 0,2 | 0,21 | 0,9 | 1,1 | 0,2 | 0,5 |
| Параметр | Вариант | | | | | | | | | | | | |
| | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| Газ | N ₂ | CO | O ₂ | CO ₂ | возд | N ₂ | H ₂ | O ₂ | возд | H ₂ | N ₂ | CO ₂ | CO |
| t ₁ , °С | 340 | 406 | 300 | 200 | 201 | 303 | 207 | 320 | 404 | 490 | 501 | 560 | 286 |
| P ₁ , МПа | 5 | 4,9 | 8,8 | 9 | 9,1 | 8,2 | 8,9 | 9,2 | 9,4 | 9,9 | 8,4 | 10 | 10,2 |
| V ₁ , л | 300 | 40 | 700 | 60 | 500 | 200 | 400 | 350 | 260 | 630 | 540 | 400 | 310 |
| P ₂ , МПа | 0,4 | 0,2 | 0,6 | 0,7 | 0,9 | 0,2 | 0,7 | 0,4 | 0,8 | 0,2 | 0,3 | 0,35 | 0,6 |

Методические указания к задаче 2:

1. Определить работу изотермического расширения газа по формуле:

$$L_1 = P_1 V_1 \cdot \ln \frac{P_2}{P_1}, \text{ Дж} \quad (4.10)$$

- где P_1 - начальное давление газа, МПа;
 V_1 - начальный объем газа, м³;
 P_2 - конечное давление газа, МПа;
 \ln - натуральный логарифм.

2. Определить конечный объём газа по формуле:

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot P_1}{P_2}, \text{ м}^3 \quad (4.11)$$

3. Работа, затраченная на преодоление атмосферного давления:

$$L_2 = P_2 (V_2 - V_1), \text{ Дж} \quad (4.12)$$

4. Полезная работа при изотермическом расширении определяется по формуле:

$$L = L_1 - L_2, \text{ Дж} \quad (4.13)$$

5. Определить работу адиабатного расширения газа по формуле:

$$L_{\text{АД1}} = \frac{P_1 \cdot V_1}{k-1} \left(1 - \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}, \text{ Дж} \quad (4.14)$$

- где P_1 - начальное давление газа, МПа;
 V_1 - начальный объем газа, м³;
 P_2 - конечное давление газа, МПа;
 k - показатель адиабаты: $k = 1,4$ для воздуха; $k = 1,3$ для кислорода и водорода; $k = 1,2$ для углекислого и угарного газа.

6. Определить конечный объём газа при адиабатном расширении, по формуле:

$$V_2 = V_1 \cdot \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{k}}, \text{ м}^3 \quad (4.15)$$

7. Работа, затраченная на преодоление атмосферного давления в адиабатном процессе:

$$L_{\text{АД2}} = P_2 (V_2 - V_1), \text{ Дж} \quad (4.16)$$

8. Полезная работа при адиабатном расширении определяется по формуле:

$$L = L_{\text{АД1}} - L_{\text{АД2}}, \text{ Дж} \quad (4.17)$$

9. Определить минимальную температуру, которую будет иметь газ, если открыть вентиль:

$$T_2 = T_1 \left[\frac{V_1}{V_2} \right]^{k-1} \quad (4.18)$$

10. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Записать уравнение адиабаты Пуассона.
2. Почему адиабата идёт круче изотермы в координатах $p - v$?
3. Дайте определение изотермического процесса.
4. Изобразить процессы графически в координатах $p - v$?
5. Записать формулы, характеризующие изотермический процесс.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Цель: формировать умения (определять параметры теплообменных аппаратов, производить расчеты требуемых физических величин в соответствии с законами и уравнениями термодинамики) к освоению ОП. 07 Термодинамика ППССЗ и овладению профессиональными компетенциями:

ПК 2.1. Обеспечивать проведение технологического процесса трубопроводного транспорта, хранения и распределения газа, нефти и нефтепродуктов.

Задание:

1. Изучить общие сведения.
2. Определить плотность теплового потока при стационарной теплопроводности стенки и температуру стенки на границы слоев. Исходные данные приведены в таблице 5.1., выбрать теплообменный аппарат типа «труба в трубе» с индексом противоточности $p = 1$. Номер варианта определяется по номеру в списке группы.
3. По контрольным вопросам подготовиться к защите.

Общие сведения:

Теплообменный аппарат (ТА) – это устройство, предназначено для передачи теплоты от одной среды к другой. Применяются: в нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, химической промышленности, при транспортировке и хранении нефти, нефтепродуктов и газа.

По принципу действия ТА делятся на рекуперативные, регенеративные и смешительные (рис.5.1).

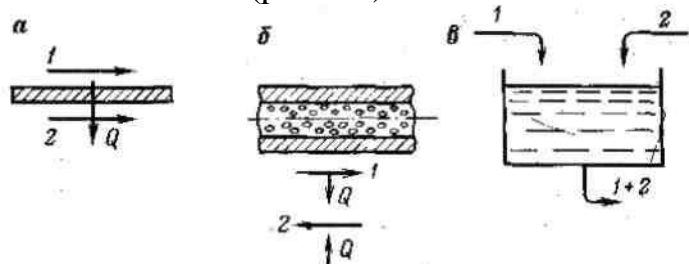


Рисунок 5.1 - Схемы теплообменных аппаратов
1 – горячий теплоноситель;
2 – холодный теплоноситель;
Q – тепловой поток

В **рекуперативных** ТА (рис. 5.1, а) горячая и холодная среды одновременно с разных сторон омывают поверхность теплопередачи, а

теплота передается через стенку.

В **регенеративных ТА** (рис. 5.1, б) горячая и холодная среды омывают одну и ту же поверхность последовательно: сначала горячая жидкость, отдавая теплоту поверхности, а затем холодная жидкость – нагревается от поверхности

В **смесительных ТА** (рис. 5.1, в) теплопередача от горячей жидкости к холодной передается путем смешивания.

Схемы движения теплоносителей – прямоток, противоток, перекрестный ток (рис. 5. 2). От схемы движения сред в прямой зависимости находится и теплообмен между ними, поэтому схемы движения жидкости еще называются схемами теплообмена.

Несмотря на особенности конструктивного исполнения, и способа действия различных типов ТА, тепловой расчет их имеет общие принципы.

В основу теплового расчета поверхностных ТА положены уравнения теплового баланса и обобщенные уравнения теплопередачи при переменных температурах, действительных для любых схем движения сред (схем теплообмена) и для конструктивных и проверочных расчетов.

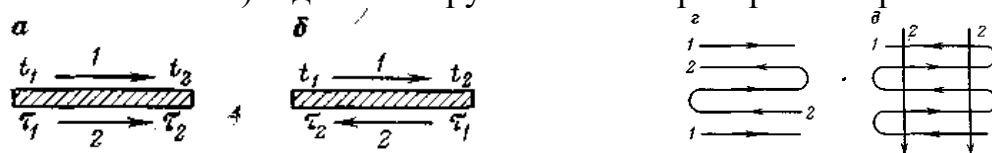


Рисунок 5.2 - Схемы движения теплоносителей

а – прямоток; б – противоток; в – перекрестный ток;

г – смешанное движение; д- многократно перекрестный ток.

Уравнение теплового баланса можно написать, если предположить, что количество теплоты, отдаваемой горячей жидкостью, равно количеству теплоты, воспринятой холодной жидкостью.

$$Q = W_1 \cdot \Delta t = W_2 \cdot \Delta \tau; \text{ кВт} \quad (5.1)$$

- где W_1 - водяной эквивалент нагревающей среды $W_1=G_1 \cdot C_{p1}$, Вт/ $^{\circ}$ С;
 W_2 - водяной эквивалент нагреваемой среды $W_2=G_2 \cdot C_{p2}$, Вт/ $^{\circ}$ С;
 Δt - изменение температуры горячей жидкости, $\Delta t=t_1-t_2$; $^{\circ}$ С;
 $\Delta \tau$ - изменение температуры холодной жидкости, $\Delta \tau = \tau_1 - \tau_2$; $^{\circ}$ С;
 C_p - теплоемкость соответствующих сред, Дж/кг· $^{\circ}$ С;
 G - массовый расход соответствующих сред, кг/с.

Условие: для охлаждения нефти t_1 до t_2 с подачей G_1 и предварительного подогрева водонефтяной эмульсии от температуры τ_1 с обводненностью W_2 и подачей G_2 в блоке регенерации теплоты на установки промышленной подготовки нефти УПН выбрать теплообменный аппарат типа «труба в трубе» с индексом противоточности $p = 1$. Исходные данные приведены в таблицы 5.1.

Таблица 5.1 - Исходные данные

| Параметр | Вариант | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| t ₁ , °C | 75 | 83 | 72 | 85 | 79 | 89 | 68 | 93 | 95 | 76 | 81 | 67 |
| t ₂ , °C | 45 | 51 | 41 | 55 | 47 | 59 | 36 | 57 | 61 | 44 | 49 | 36 |
| G ₁ , кг/с | 23,9 | 19,7 | 21,4 | 22,3 | 20,5 | 21,7 | 19,4 | 23,1 | 22,7 | 18,8 | 23,4 | 21,2 |
| G ₂ , кг/с | 28,9 | 28,4 | 29,3 | 28,1 | 27,7 | 27,3 | 29,1 | 28,6 | 27,8 | 26,8 | 29,2 | 28,6 |
| τ ₁ , °C | 30 | 33 | 28 | 37 | 36 | 41 | 24 | 40 | 46 | 29 | 31 | 21 |
| Параметр | Вариант | | | | | | | | | | | |
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| t ₁ , °C | 83 | 97 | 77 | 70 | 85 | 98 | 100 | 115 | 120 | 91 | 87 | 85 |
| t ₂ , °C | 52 | 63 | 41 | 39 | 38 | 65 | 44 | 51 | 47 | 60 | 59 | 64 |
| G ₁ , кг/с | 22,6 | 24,5 | 25,1 | 27,0 | 19,9 | 29,0 | 22,3 | 25,5 | 26,9 | 24,1 | 23,5 | 28,9 |
| G ₂ , кг/с | 29,5 | 27,5 | 28,6 | 26,1 | 23,0 | 25,0 | 27,0 | 27,9 | 28,5 | 28,9 | 30,0 | 30,5 |
| τ ₁ , °C | 38 | 22 | 19 | 20 | 31,1 | 40 | 41 | 51 | 39 | 35 | 42 | 47 |
| Параметр | Вариант | | | | | | | | | | | |
| | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| t ₁ , °C | 91 | 99 | 76 | 79 | 81 | 85 | 92 | 87 | 93 | 98 | 75 | 77 |
| t ₂ , °C | 59 | 39 | 39 | 40 | 41 | 38 | 42 | 43 | 47 | 52 | 53 | 45 |
| G ₁ , кг/с | 27,9 | 28,0 | 24,0 | 25,0 | 24,5 | 25,9 | 27,2 | 28,1 | 29,8 | 26,1 | 25,9 | 26,0 |
| G ₂ , кг/с | 28,9 | 29,0 | 23,2 | 22,6 | 23,9 | 24,0 | 29,6 | 27,5 | 29,8 | 22,2 | 23,5 | 26,9 |
| τ ₁ , °C | 38 | 15 | 19 | 23 | 24 | 25 | 26 | 41 | 42 | 44 | 43 | 40 |

Методические указания к задаче:

1. Для проведения предложенного расчета необходимы дополнительные данные (таблица 5. 2).

Таблица 5.2 – Дополнительная информация

| Начальные параметры теплофизических свойств нефти | | | |
|---|---|--|---|
| Плотность ρ ₁ , кг/м ³ | Коэффициент теплопроводности λ ₁ , Вт/м·°C | Теплоемкость изобарного процесса С _{р1} , кДж/кг·°C | Кинематическая вязкость ν ₁ , м ² /°C |
| 873 | 0,115 | 1,994 | 53,01·10 ⁶ |
| Конечные параметры теплофизических свойств нефти | | | |
| Плотность ρ ₂ , кг/м ³ | Коэффициент теплопроводности λ ₂ , Вт/м·°C | Теплоемкость изобарного процесса С _{р2} , кДж/кг·°C | Кинематическая вязкость ν ₂ , м ² /°C |
| 907 | 0,174 | 2,424 | 203,01·10 ⁶ |

2. Определить начальный и конечный водяные эквиваленты сред:

$$W_1 = G_1 \cdot C_{p1}; \text{ Вт/}^\circ\text{C}$$

$$W_2 = G_2 \cdot C_{p2}; \text{ Вт/}^\circ\text{C} \quad (5.2)$$

3. Определить тепловой поток по формуле:

$$Q = W_1 \cdot \Delta t = W_1 (t_2 - t_1); \text{ кВт} \quad (5.3)$$

4. Определить температуру водонефтяной эмульсии на выходе из ТА по формуле:

$$\tau_2 = \tau_1 + \frac{Q}{W_2}; \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.4)$$

где τ_1 - начальная температура среды, $^\circ\text{C}$;
 W_2 - водяной эквивалент нагреваемой среды $W_2=G_2 \cdot C_{p2}$, $\text{Вт}/^\circ\text{C}$;
 Q - тепловой поток, кВт ;

5. Определить начальную и конечную температуру при противотоке по формуле:

$$\Theta_1 = t_1 - \tau_2; \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Theta_1 = t_2 - \tau_1; \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.5)$$

6. Определить среднюю разность температур при противотоке по формуле:

$$\Theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}}; \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.6)$$

7. Определить водяной эквивалент поверхности теплопередачи по формуле:

$$kF = \frac{Q}{\theta_m}; \text{ } \text{кВт}/^\circ\text{C} \quad (5.7)$$

8. Оценить каковы должны быть площади проходных сечений для протоков при оптимальных скоростях движения ($\omega_1 = \omega_2 = 1,5 \div 2,5 \text{ м/с}$):

$$f_1 = \frac{G_1}{\rho_1 \cdot \omega_1}; \text{ } \text{м}^2$$

$$f_2 = \frac{G_2}{\rho_2 \cdot \omega_2}; \text{ } \text{м}^2 \quad (5.8)$$

где G - массовый расход соответствующих сред, кг/с
 ρ - плотность нефти, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 ω - оптимальные скорости движения среды, м/с ;

9. Определить фактические скорости движения по формуле:

$$\omega_1 = \frac{G_1}{\rho_1 \cdot f_1}; \text{ } \text{м/с} - \text{нефти}$$

$$\omega_2 = \frac{G_2}{\rho_2 \cdot f_2}; \text{ } \text{м/с} - \text{эмульсии} \quad (5.9)$$

10. Определить площадь поверхности теплообмена по формуле:

$$F = \frac{kF}{k}; \text{ } \text{м}^2 \quad (5.10)$$

где kF - водяной эквивалент поверхности, подставить в $\text{Вт}/^\circ\text{C}$;
 k - перерасчетный коэффициент, $55,6 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

11. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Какие формы передачи теплоты известны.
2. Сформулируйте закон Фурье
3. Дать определение следующим понятиям: тепловой поток, плотность теплового потока.
4. Что такое температурный градиент и термическое сопротивление.
5. Назвать типы ТА по принципу их действия.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА ФУРЬЕ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ

Цель: формировать умения (определять параметры теплообменных аппаратов, производить расчеты требуемых физических величин в соответствии с законами и уравнениями термодинамики) к освоению дисциплины ОП. 07 Термодинамика ППСЗ и овладению профессиональными компетенциями:

ПК 2.1. Обеспечивать проведение технологического процесса трубопроводного транспорта, хранения и распределения газа, нефти и нефтепродуктов.

Задание:

1. Изучить общие сведения.
2. Определить плотность теплового потока при стационарной теплопроводности стенки и температуру стенки на границы слоев. Исходные данные приведены в таблице 6.1. Номер варианта определяется по номеру в списке группы.
3. По контрольным вопросам подготовиться к защите.

Общие сведения:

В основу теории теплопроводности положен **Закон Фурье** – тепловой поток прямо пропорционален температурному градиенту и площади поверхности тела.

Закон Фурье для плоской однослойной стенки записывается следующим образом:

$$Q = \lambda \cdot \frac{\theta_1 - \theta_2}{\delta} \cdot F = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R} \cdot F, \text{ Вт} \quad (6.1)$$

- где Q - тепловой поток, Вт;
 $\frac{\theta_1 - \theta_2}{\delta}$ - температурный градиент, $^{\circ}\text{C}/\text{м}$;
 $\theta_1 - \theta_2$ - изменение температуры на пути теплового потока, $^{\circ}\text{C}$;
 δ - толщина стенки, м;
 λ - коэффициент теплопроводности материала стенки, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$;
 F - площадь поверхности стенки, м^2 ;
 R - термическое сопротивление стенки $R = \frac{\delta}{\lambda}$, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Под температурным градиентом понимают изменение температуры на единицу длины потока.

Отношение теплового потока к площади поверхности теплопроводности называется плотностью теплового потока.

$$q = \frac{Q}{F} = \frac{\lambda}{\delta} (\Theta_1 - \Theta_2), \text{ Вт} \quad (6.2)$$

- где Q - тепловой поток, Вт;
 $\Theta_1 - \Theta_2$ - изменение температуры на пути теплового потока, °С;
 δ - толщина стенки, м;
 λ - коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/(м·°С);
 F - площадь поверхности стенки, м².

Коэффициент теплопроводности характеризует способность тел проводить теплоту

$$\lambda = \frac{q \cdot \delta}{(\Theta_1 - \Theta_2)}, \text{ Вт/(м·°С)} \quad (6.3)$$

- где q - плотность теплового потока, Вт;
 $\Theta_1 - \Theta_2$ - изменение температуры на пути теплового потока, °С;
 δ - толщина стенки, м.

Условие: Плоская стенка печи состоит из двух слоев: огнеупорного кирпича и строительного кирпича. Определить плотность теплового потока при стационарной теплопроводности стенки и температуру стенки на границы слоев. Исходные данные приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Исходные данные

| Параметр | Вариант | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| $\delta_1, \text{ мм}$ | 500 | 489 | 368 | 465 | 502 | 498 | 473 | 451 | 506 | 472 | 455 | 444 |
| $\delta_2, \text{ мм}$ | 250 | 256 | 182 | 159 | 247 | 236 | 212 | 210 | 254 | 231 | 196 | 192 |
| $\Theta_1, \text{ °С}$ | 1260 | 1210 | 1120 | 890 | 1212 | 1102 | 1008 | 1002 | 1222 | 1113 | 982 | 896 |
| $\Theta_2, \text{ °С}$ | 108 | 98 | 88 | 76 | 96 | 82 | 78 | 74 | 110 | 102 | 72 | 68 |
| $\lambda_1, \text{ Вт/(м·°С)}$ | 1,16 | 1,08 | 1,01 | 1,05 | 1,03 | 1,00 | 0,98 | 0,96 | 1,01 | 1,12 | 0,86 | 0,82 |
| $\lambda_2, \text{ Вт/(м·°С)}$ | 0,58 | 0,54 | 0,48 | 0,44 | 0,42 | 0,38 | 0,32 | 0,31 | 0,36 | 0,52 | 0,28 | 0,26 |
| Параметр | Вариант | | | | | | | | | | | |
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| $\delta_1, \text{ мм}$ | 432 | 398 | 512 | 453 | 426 | 508 | 482 | 438 | 402 | 458 | 500 | 481 |
| $\delta_2, \text{ мм}$ | 193 | 178 | 262 | 225 | 202 | 252 | 241 | 216 | 201 | 226 | 249 | 240 |
| $\Theta_1, \text{ °С}$ | 898 | 856 | 1262 | 1224 | 988 | 1266 | 1118 | 1012 | 1000 | 1046 | 1088 | 1008 |
| $\Theta_2, \text{ °С}$ | 64 | 60 | 112 | 100 | 90 | 114 | 106 | 104 | 92 | 86 | 88 | 79 |
| $\lambda_1, \text{ Вт/(м·°С)}$ | 0,80 | 0,78 | 1,22 | 1,14 | 1,06 | 1,24 | 1,12 | 1,07 | 1,01 | 1,06 | 1,04 | 1,02 |
| $\lambda_2, \text{ Вт/(м·°С)}$ | 0,24 | 0,20 | 0,60 | 0,56 | 0,46 | 0,62 | 0,53 | 0,45 | 0,34 | 0,32 | 0,30 | 0,29 |

Методические указания к задаче:

1. Определить суммарную толщину стенки:

$$\Delta = \delta_1 + \delta_2, \text{ м} \quad (6.5)$$

где δ_1 - толщина стенки огнеупорного кирпича, мм;
 δ_2 - толщина стенки строительного кирпича, мм.

2. Определить общее термическое сопротивление стенки:

$$R = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} \quad (6.6)$$

где λ_1 - коэффициент теплопроводности строительного кирпича, Вт/(м·°C);
 λ_2 - коэффициент теплопроводности огнеупорного кирпича, Вт/(м·°C);
 δ_1 - толщина стенки огнеупорного кирпича, мм;
 δ_2 - толщина стенки строительного кирпича, мм.

3. Определить эквивалентный коэффициент теплопроводности условной однослойной стенки

$$\lambda_{\text{э}} = \frac{\Delta}{R}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)} \quad (6.7)$$

где Δ - суммарная толщина стенки, м;
 R - термическое сопротивление стенки $R = \frac{\delta}{\lambda}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

4. Определить плотность теплового потока.

$$q = \frac{\lambda_{\text{э}}}{\Delta} (\theta_1 - \theta_2), \text{ Вт/м}^2 \quad (6.8)$$

где $\lambda_{\text{э}}$ - плотность теплового потока, Вт;
 $\theta_1 - \theta_2$ - изменение температуры на пути теплового потока, °C;
 Δ - толщина стенки, м.

5. Определить температуру стенки на границе слоев:

$$\Theta = \theta_1 - q \cdot R, \text{ °C} \quad (6.9)$$

где q - плотность теплового потока, Вт;
 R - термическое сопротивление стенки $R = \frac{\delta}{\lambda}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$
 θ_1 - температура внутренней поверхности стенки, °C.

6. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Какие формы передачи теплоты известны.
2. Сформулируйте закон Фурье
3. Запишите формулу для плоской однослойной стенки.
4. Что понимают под температурным градиентом?
5. Дайте определение плотности теплового потока.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7

РАСЧЕТ ТОПЛИВА В ПРОЦЕССЕ ГОРЕНИЯ

Цель: формировать умения (производить расчеты воздуха для сжигания топлива, элементарного состава топлива; тепловые расчёты поршневых ДВС, расчеты требуемых физических величин в соответствии с законами и уравнениями термодинамики) к освоению дисциплины ОП. 07 Термодинамика ППСЗ и овладению профессиональными компетенциями:

ПК 2.1. Обеспечивать проведение технологического процесса трубопроводного транспорта, хранения и распределения газа, нефти и нефтепродуктов.

Задание:

1. Изучить общие сведения.
2. Определить низшую теплоту сгорания топлива, теоретическое и действительное количество воздуха для сжигания 1 кг топлива, следующего элементарного состава на горячую смесь. Исходные данные для расчета даны в таблице 7.1. Номер варианта определяется по номеру в списке группы:

- если последняя цифра 0,1, то вариант 1;
- если последняя цифра 2, то вариант 2;
- если последняя цифра 3, то вариант 3;
- если последняя цифра 4,5, то вариант 4;
- если последняя цифра 6,7, то вариант 5;
- если последняя цифра 8,9, то вариант 6.

3. По контрольным вопросам подготовиться к защите.

Общие сведения:

Топливо – это любое вещество, при сгорании которого выделяется значительное количество теплоты на единицу массы или объема.

Рабочее топливо – это топливо в том виде, в каком оно попадает в топку котельного агрегата и сгорает. Элементарный состав топлива характеризуется содержанием следующих элементов

$$C^p + H^p + O^p + S^p_{\text{д}} + N^p + A^p + W^p = 100\% \quad (7.1)$$

Зола и влага – нежелательные примеси, составляющие внешний баланс топлива. **Сухая масса** – это топливо, освобожденное от влаги:

$$C^c + H^c + O^c + S^c_{\text{д}} + N^c + A^c = 100\% \quad (7.2)$$

Горючая масса – это безводная и беззольная масса топлива:

$$C^g + H^g + O^g + S^g_{\text{д}} + N^g = 100\% \quad (7.3)$$

Удельная высшая теплота сгорания $Q^p_{\text{в}}$ – это удельная теплота сгорания рабочего топлива с учетом дополнительной теплоты, которая

выделяется при конденсации водяных паров.

Удельная низшая теплота сгорания топлива $Q_{н}^p$ – это количество теплоты, которая выделяется в обычных практических условиях, т.е. когда водяные пары не конденсируются, а выбрасываются в атмосферу:

$$Q_{н}^p = 0,33 C^p + 1,025 H^p - 0,108 (O^p - S_{п}^p) - 0,25 W^p \quad (7.4)$$

Условие: определить низшую теплоту сгорания топлива, теоретическое и действительное количество воздуха для сжигания 1 кг топлива, следующего элементарного состава на горячую смесь. Исходные данные для расчета даны в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Исходные данные для расчета.

| Варианты | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C^p | 85,2 | 82,3 | 80 | 86,7 | 76,4 | 83 | 73,1 | 74,1 | 83 | 82 |
| H^p | 10,2 | 11 | 13,5 | 6,48 | 7,31 | 10,86 | 11,85 | 10,35 | 11,63 | 10,08 |
| N^p | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,22 | 0,34 | 0,44 | 0,58 | 0,67 | 0,51 | 0,23 |
| O^p | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 1,38 | 0,46 | 0,56 | 0,32 | 0,43 | 0,39 | 0,67 |
| $S_{п}^p$ | 0,5 | 0,6 | 0,49 | 0,72 | 0,64 | 0,54 | 0,68 | 0,47 | 0,51 | 0,43 |
| A^p | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
| W^p | 3 | 3,4 | 3,6 | 2,9 | 2,5 | 3,1 | 2,2 | 3,6 | 2,5 | 3 |
| α | 1,3 | 1,6 | 1,4 | 1,5 | 1,15 | 1,2 | 1,17 | 1,18 | 1,16 | 1,19 |

Методические указания к задаче:

1. Определить низшую теплоту сгорания топлива по формуле Д.И. Жуковского:

$$Q_{н}^p = 0,33 C^p + 1,025 H^p - 0,108 (O^p - S_{п}^p) - 0,25 W^p, \text{ МДж/кг} \quad (7.5)$$

2. Определить теоретический удельный расход воздуха для сжигания топлива данного состава по формуле:

$$L_o = \frac{Q_{н}^p}{2,94}, \text{ кг / кг} \quad (7.6)$$

где $Q_{н}^p$ - низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;
2,94 - расход воздуха в кг на 1 МДж теплоты сгорания топлива.

3. Определить действительный расход воздуха по формуле:

$$L = L_o \cdot \alpha, \text{ кг / кг} \quad (7.7)$$

где L_o - теоретический удельный расход воздуха, кг/кг;
 α - коэффициент избытка воздуха в топке котла.

4. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Что называется топливом?
2. Каков элементарный состав органических топлив?
3. Перечислите основные элементы, входящие в рабочую массу топлива?

4. Что такое сухая масса?
5. Что такое горючая масса?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8

КПД КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА, ЭФФЕКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ ДИЗЕЛЯ, РАСХОД ТОПЛИВА

Цель: формировать умения (производить расчеты воздуха для сжигания топлива, элементарного состава топлива, расчеты требуемых физических величин в соответствии с законами и уравнениями термодинамики) к освоению дисциплины ОП. 07 Термодинамика ППСЗ и овладению профессиональными компетенциями:

ПК 2.1. Обеспечивать проведение технологического процесса трубопроводного транспорта, хранения и распределения газа, нефти и нефтепродуктов.

Общие сведения:

Задача теплового расчета поршневых ДВС (двигатель внутреннего сгорания) – определение параметров состояния рабочего тела в характерных точках цикла, нахождение среднего индикаторного давления.

Среднее индикаторное давление P_i – это условное постоянное давление, которое действует на поршень в течение хода расширения, совершает работу, равную индикаторной работе двигателя L_i .

$$L_i = p_i V_H$$

$$p_i = \frac{L_i}{V_H} \quad (8.1)$$

Индикаторная мощность N_i – это работа газов в единицу времени в цилиндре двигателя. Индикаторная мощность (в кВт) ДВС с учётом тактности ($2/i$, i - число тактов), частоты вращения коленчатого вала (n , об/мин) и числа цилиндров (z) определяется по формуле:

$$N_i = \frac{L_i \cdot n}{10^3 \cdot 60} \cdot \frac{2}{i} \cdot z = \frac{p_i \cdot V_H \cdot n}{10^3 \cdot 60} \cdot \frac{2}{i} \cdot z; \quad (8.2)$$

- где L_i - индикаторная работа двигателя, кДж;
 n - частота вращения коленчатого вала, об/мин
 i - число тактов;
 z - число цилиндров;
 V_H - рабочий объём цилиндра, м³.

Эффективная мощность на валу двигателя N_e , меньше N_i на величину механических потерь N_m .

Балансом теплоты котельного агрегата называется равенство между имеющимся количеством энергии и его распределением.

Расход топлива при проектировании и планировании определяют из уравнения теплового баланса:

$$B = \frac{Q_{к.а}}{(Q_H^P \cdot \eta_{к.а})}, \text{ кг} \quad (8.3)$$

- где $Q_{к.а}$ - тепловой поток, кДж/кг;
 Q_H^P - низшая температура сгорания 1 кг топлива, кДж/кг;
 $\eta_{к.а}$ - коэффициент полезного действия котельного агрегата.

Коэффициент полезного действия котельного агрегата определяют в эксплуатационных условиях из уравнения:

$$\eta_{к.а} = \frac{Q_{к.а}}{(B \cdot Q_H^P)} \quad (8.4)$$

- где $Q_{к.а}$ - тепловой поток, кДж/кг;
 Q_H^P - низшая температура сгорания 1 кг топлива, кДж/кг;
 B - расход топлива, кг.

Коэффициент теплопроводности характеризует способность тел проводить теплоту

$$\lambda = \frac{q \cdot \delta}{(\theta_1 - \theta_2)}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)} \quad (8.5)$$

- где q - плотность теплового потока, Вт;
 $\theta_1 - \theta_2$ - изменение температуры на пути теплового потока, °C;
 δ - толщина стенки, м.

Тепловой расчет топочных устройств и газоходов котельных агрегатов и трубчатых печей может быть произведен по методу Н.И. Белокопя.

Задача 1.

Условие: Определить КПД котельного агрегата ДКВР-10-13. Исходные данные приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1. - Исходные данные

| Параметр | Вариант | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| $t_y, \text{°C}$ | 140 | 142 | 138 | 126 | 132 | 124 | 136 | 128 | 120 | 118 | 144 | 148 |
| $t_0, \text{°C}$ | 30 | 32 | 28 | 26 | 28 | 24 | 26 | 28 | 20 | 18 | 34 | 38 |
| α_y | 1,45 | 1,48 | 1,38 | 1,26 | 1,32 | 1,24 | 1,36 | 1,28 | 1,20 | 1,18 | 1,44 | 1,48 |
| $c_{pm}, \text{кДж/(кг} \cdot \text{K)}$ | 1,07 | 1,12 | 1,08 | 1,06 | 1,03 | 1,04 | 1,05 | 1,09 | 1,02 | 1,03 | 1,04 | 1,06 |
| $L_0, \text{кг/кг}$ | 13,4 | 13,6 | 12,9 | 12,6 | 13,2 | 12,4 | 13,6 | 12,8 | 12,0 | 11,8 | 14,4 | 14,8 |
| $W_\phi, \text{кг}$ | 0,3 | 0,4 | 0,28 | 0,26 | 0,28 | 0,21 | 0,24 | 0,21 | 0,12 | 0,11 | 0,14 | 0,15 |
| $q_3, \%$ | 2,0 | | | | | | | | | | | |
| $q_4, \%$ | 0 | | | | | | | | | | | |
| $q_5, \%$ | 1,7 | | | | | | | | | | | |
| $Q_H^P, \text{кДж/кг}$ | $39,1 \cdot 10^6$ | | | | | | | | | | | |

| Параметр | Вариант | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| $t_y, ^\circ\text{C}$ | 150 | 152 | 116 | 121 | 134 | 154 | 156 | 122 | 112 | 114 | 158 | 160 |
| $t_0, ^\circ\text{C}$ | 50 | 52 | 16 | 21 | 34 | 54 | 56 | 22 | 12 | 14 | 58 | 60 |
| α_y | 1,50 | 1,52 | 1,16 | 1,21 | 1,34 | 1,54 | 1,56 | 1,22 | 1,12 | 1,14 | 1,58 | 1,59 |
| $c_{pm}, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ | 1,5 | 1,48 | 1,02 | 1,03 | 1,04 | 1,08 | 1,07 | 1,02 | 1,03 | 1,01 | 1,05 | 1,09 |
| $L_o, \text{кг}/\text{кг}$ | 15,0 | 15,2 | 11,6 | 12,1 | 13,4 | 15,4 | 15,6 | 12,2 | 11,2 | 11,4 | 15,8 | 15,9 |
| $W_\phi, \text{кг}$ | 0,42 | 0,40 | 0,11 | 0,14 | 0,13 | 0,16 | 0,17 | 0,27 | 0,18 | 0,10 | 0,44 | 0,46 |
| $q_3, \%$ | 2,0 | | | | | | | | | | | |
| $q_4, \%$ | 0 | | | | | | | | | | | |
| $q_5, \%$ | 1,7 | | | | | | | | | | | |
| $Q_H^P, \text{кДж}/\text{кг}$ | $39,1 \cdot 10^6$ | | | | | | | | | | | |

Методические указания к задаче 1:

1. Определить массу газообразных продуктов сгорания на выходе из котельного агрегата:

$$G_y = 1 + \alpha_y \cdot L_o + W_\phi, \text{ кг/кг} \quad (8.1)$$

- где α_y - коэффициент избытка воздуха на выходе из котельного агрегата;
 L_o - теоретический удельный расход воздуха, кг/кг;
 W_ϕ - дополнительно вводимый пар, кг.

2. Определить потери теплоты с уходящими газами:

$$q_2 = \frac{G_y \cdot c_{pm} (t_y - t_0)}{Q_H^P} \cdot 100, \% \quad (8.2)$$

- где c_{pm} - средняя удельная теплоемкость уходящих продуктов сгорания, кДж/(кг·К);
 G_y - масса газообразных продуктов сгорания на выходе из котельного агрегата, кг/кг;
 t_y - температура уходящих газообразных продуктов сгорания из котельного агрегата, $^\circ\text{C}$;
 t_0 - температура окружающего воздуха, $^\circ\text{C}$;
 Q_H^P - низшая температура сгорания 1 кг топлива, кДж/кг.

3. Определить к. п. д. котельного агрегата:

$$\eta_{к.а} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5), \% \quad (8.3)$$

- где q_2 - потери теплоты с уходящими газами, %;
 q_3 - потери теплоты от химической неполноты сгорания, %;
 q_4 - потери теплоты от механической неполноты сгорания, %;
 q_5 - потери теплоты от наружного охлаждения котельного агрегата, %.

Задача 2.

Условие: определить эффективную мощность дизеля и удельный расход топлива в эффективном процессе, шестицилиндрового четырехтактного дизельного двигателя с непосредственным впрыском

топлива в цилиндр. Исходные данные приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.2 - Исходные данные

| Параметр | Вариант | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Q_H^P , МДж/кг | 42,5 | 39,1 | 28,6 | 35,4 | 42,1 | 26,8 | 36,8 | 38,5 | 41,6 | 42,4 | 25,3 | 24,9 |
| n , об/мин | 1500 | 1100 | 986 | 1450 | 1350 | 856 | 938 | 948 | 944 | 989 | 874 | 950 |
| F , м ² | $1,95 \cdot 10^{-3}$ | | | | | | | | | | | |
| η_i | 0,51 | | | | | | | | | | | |
| l , м | 0,15 | | | | | | | | | | | |
| m , Па/м | $0,6 \cdot 10^8$ | | | | | | | | | | | |
| D , м | 0,15 | | | | | | | | | | | |
| z | 6 | | | | | | | | | | | |
| S , м | 0,18 | | | | | | | | | | | |
| Параметр | Вариант | | | | | | | | | | | |
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| Q_H^P , МДж/кг | 42,5 | 32,8 | 31,4 | 33,7 | 24,6 | 22,8 | 30,8 | 31,9 | 41,3 | 40,6 | 32,5 | 33,4 |
| n , об/мин | 1350 | 864 | 1550 | 1475 | 986 | 1000 | 980 | 950 | 843 | 878 | 984 | 1100 |
| F , м ² | $1,95 \cdot 10^{-3}$ | | | | | | | | | | | |
| l , м | 0,15 | | | | | | | | | | | |
| m , Па/м | $0,6 \cdot 10^8$ | | | | | | | | | | | |
| D , м | 0,15 | | | | | | | | | | | |
| z | 6 | | | | | | | | | | | |
| A_i | 1 | | | | | | | | | | | |
| η_i | 0,51 | | | | | | | | | | | |
| S , м | 0,18 | | | | | | | | | | | |

Методические указания к задаче 2:

1. Определить среднюю скорость поршня:

$$C_m = \frac{S}{n}, \text{ м/с} \quad (8.4)$$

где S - ход поршня, м;
 n - частота вращения коленчатого вала, об/мин.

2. Определить приближенное значение среднего давления механических потерь:

$$p_m = 0,105 + 0,012 \cdot C_m, \text{ МПа} \quad (8.5)$$

где C_m - средняя скорость поршня, м/с.

3. Определить среднее индикаторное давление:

$$p_i = \frac{F}{l} \cdot m, \text{ Па} \quad (8.6)$$

где F - площадь индикаторной диаграммы двигателя, м²;
 l - длина индикаторной диаграммы двигателя, м;
 m - масштаб давлений, Па/м.

4. Определить среднее эффективное давление:

$$p_e = p_i - p_m, \text{ МПа} \quad (8.7)$$

где p_i - среднее индикаторное давление, Па;
 p_m - среднее давление механических потерь, МПа.

5. Определить рабочий объем цилиндра:

$$V_H = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S, \text{ м}^3 \quad (8.8)$$

где S - ход поршня, м;
 D - диаметр цилиндра, м.

6. Определить эффективную мощность дизеля:

$$N_e = \frac{p_e \cdot V_H \cdot n}{10^3 \cdot 60} \cdot \frac{2}{i} \cdot z, \text{ кВт} \quad (8.9)$$

где p_e - потери теплоты с уходящими газами, МПа;
 V_H - рабочий объем цилиндра, м³;
 n - частота вращения коленчатого вала, об/мин;
 i - число тактов, $i=4$;
 z - число цилиндров, $z = 6$.

7. Определим удельный расход топлива в эффективном процессе:

$$g_e = \frac{A_i}{Q_H^P \cdot \eta_i}, \text{ кг/(кВт·ч)} \quad (8.10)$$

где A_i - тепловой эквивалент единиц работы, $A_i = 1$;
 Q_H^P - теплота сгорания топлива, МДж/кг;
 η_i - индикаторный КПД двигателя, $\eta_i = 0,51$.

8. Сделать вывод.

Контрольные вопросы:

1. Что называется топливом?
2. Каков элементарный состав органических топлив?
3. Перечислите основные элементы, входящие в рабочую массу топлива?
4. Дайте определение среднего индикаторного давления.
5. Какова задача теплового расчета поршневых ДВС.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенова, Е. Н. Общая физика. Термодинамика и молекулярная физика (главы курса): учебное пособие для спо / Е. Н. Аксенова. — Санкт-Петербург: Лань, 2020. — 72 с. — ISBN 978-5-8114-6537-8.

2. Ерофеев, В. Л. Теплотехника в 2 т. Том 1. Термодинамика и теория теплообмена: учебник для среднего профессионального образования / В. Л. Ерофеев, А. С. Пряхин, П. Д. Семенов; под редакцией В. Л. Ерофеева, А. С. Пряхина. — Москва: Издательство Юрайт, 2021. — 308 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-06945-7.

3. Кудинов, В. А. Техническая термодинамика и теплопередача: учебник для среднего профессионального образования / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, Е. В. Стефанюк. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2021. — 454 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-12196-4.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| ТЕМАТИКА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ | 5 |
| ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1..... | 5 |
| ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2..... | 9 |
| ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3..... | 13 |
| ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4..... | 17 |
| ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5..... | 21 |
| ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6..... | 25 |
| ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7..... | 28 |
| ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8..... | 30 |
| ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ | 35 |

ОП. 07 ТЕРМОДИНАМИКА

21.00.00 ПРИКЛАДНАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГОРНОЕ ДЕЛО, НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО И ГЕОДЕЗИЯ

специальность 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов
и газонефтехранилищ

**Методические указания к выполнению практических занятий
для обучающихся 2 курса всех форм обучения (очная, заочная)
образовательных организаций
среднего профессионального образования**

Методические указания
разработал преподаватель: Тетикли Надежда Михайловна

Подписано к печати **22.11.2023 г.**

Формат 60x84/16

Тираж

Объем **2,2** п.л.

Заказ

1 экз.

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Югорский государственный университет» (ЮГУ)

НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ

**(ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

«ЮГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

628615 Тюменская обл., Ханты-Мансийский автономный округ,

г. Нижневартовск, ул. Мира, 37.