Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»

Кафедра теплоэнергетики и экологии

УТВЕРЖДАЮ
Директор института металлургии и материаловедения
_____ А.А. Уманский
подпись
«____» _____ 20___ г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Утилизация тепла уходящих газов

13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»
(направленность (профиль): «Промышленная теплоэнергетика»)

Квалификация выпускника
Магистр

Форма обучения
Очная форма

Срок обучения: 2 года

Год начала подготовки 2026

Новокузнецк
2026

СибГИУ
Подлинник электронного документа хранится в системе электронного согласования документов СибГИУ
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭП
Сертификат: b74f1896a8e5f6d1b42349567b351e7a7b0d4c48
Владелец: Директор ИМиМ Уманский Александр Александрович
Действителен: с 8 июля 2025 г. по 1 октября 2026 г.
Дата и время: 08-04-2026 09:01:41 ПРОВЕРИТЬ ПОДПИСЬ

## 1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Целями учебной дисциплины являются:

– изучение основ теории утилизация тепла уходящих газов тепловых агрегатов и принципов энергосбережения в промышленности.

Задачами учебной дисциплины являются:

– изучение конструкций и тепловой работы рекуперативных и регенеративных теплообменников;
– изучение основ эксплуатации и конструирования теплообменников;
– изучение теплового и аэродинамического расчетов теплообменников тепловых агрегатов;
– изучение тепловой работы агрегатов, снабженных утилизаторами тепла уходящих газов, и принципов энергосбережения в промышленности.

## 2 Место учебной дисциплины в структуре ООП по направлению подготовки (специальности)

Учебная дисциплина относится к учебным дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений **Блока 1 «Дисциплины (модули)»** ООП по направлению подготовки (специальности) 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Учебная дисциплина опирается на базовые знания и компетенции, полученные в процессе получения предыдущего образования.

Учебная дисциплина дополняет знания и умения, получаемые по одновременно изучаемым и последующим учебным дисциплинам:

– Водоподготовка котельных установок;
– Иностранный язык в сфере профессиональной коммуникации;
– Методология научного познания;
– Комплексное использование сырья и отходов в современном производстве;
– Ресурсо- и энергосбережение в современном производстве;
– Моделирование и оптимизация технологических процессов.

## 3 Планируемые результаты обучения по учебной дисциплине

Процесс изучения учебной дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

### – Профессиональные компетенции

| Наименование категории (группы) ПК | Код и наименование ПК | Код и наименование индикатора достижения ПК | Планируемые результаты обучения |
|---|---|---|---|
| | ПК-2: Способен | ПК-2.2 Контролирует | – знать: требования |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | осуществлять производственный контроль соблюдения требований промышленной безопасности на опасном производственном объекте | соблюдение работниками опасного производственного объекта требований промышленной безопасности | промышленной безопасности применительно к технологии утилизация тепла уходящих газов.<br>– уметь: соблюдать требования промышленной безопасности применительно к технологии утилизация тепла уходящих газов. |

## 4 Объем и содержание учебной дисциплины

Учебные занятия по учебной дисциплине проводятся в форме контактной работы и в форме самостоятельной работы обучающихся.

Контактная работа включает в себя занятия лекционного типа (лекции), занятия семинарского типа (семинары, практические занятия, практикумы), промежуточную аттестацию обучающихся и иные формы взаимодействия обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации ООП на иных условиях, в том числе при проведении промежуточной аттестации обучающихся. Контактная работа может проводиться с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

### Объем учебной дисциплины

| Семестр / курс | | ***ИТОГО*** | ***1 семестр*** |
|---|---|---|---|
| Форма промежуточной аттестации | | | *экзамен* |
| Трудоёмкость | *академ. час.* | ***180*** | *180* |
| | *зачетных единиц* | ***5*** | *5* |
| Лекции, *академ. час.* | | ***8*** | *8* |
| в форме практической подготовки | | ***0*** | *0* |
| Лабораторные работы, *академ. час.* | | ***0*** | *0* |
| в форме практической подготовки | | ***0*** | *0* |
| Практические занятия, *академ. час.* | | ***16*** | *16* |
| в форме практической подготовки | | ***0*** | *0* |
| Курсовая работа / проект, *академ. час.* | | ***0*** | *0* |
| в форме практической подготовки | | ***0*** | *0* |
| Консультации, *академ. час.* | | ***0*** | *0* |
| в форме практической подготовки | | ***0*** | *0* |
| Самостоятельная работа, *академ. час.* | | ***102*** | *102* |
| в форме практической подготовки | | ***0*** | *0* |
| Контроль, *академ. час.* | | ***54*** | *54* |
| в форме практической подготовки | | ***0*** | *0* |

### Содержание учебной дисциплины

Раздел 1 Введение в теорию утилизации тепла уходящих дымовых газов промышленных тепловых агрегатов;

Тема 1.1 Влияние подогрева воздуха на технологические процессы тепловых агрегатов. Влияние температуры подогрева окислителя и топлива на процесс горения топлива. Улучшение условий смесеобразования топлива и воздуха в процессе горения. Обеспечение полноты окисления горючих элементов топлива в процессе горения топлива. Снижение расхода топлива в зависимости от эффективности утилизации тепла отходящих газов тепловых агрегатов.;

Тема 1.2 Тепловая работа топливосжигающих устройств тепловых агрегатов на подогретом окислителе и топливе. Изменение геометрических характеристик газового и мазутного факелов в зависимости от температуры подогрева топливовоздушной смеси. Особенности выбора и тепловой работы топливосжигающих устройств на подогретом воздухе и газе. Особенности горения топлива на подогретом воздухе;

Раздел 2 Характеристика теплообменников промышленных тепловых агрегатов;

Тема 2.1 Конструкции и тепловая работа рекуперативных и регенеративных теплообменников. Классификация теплообменников. Классификация рекуператоров и регенераторов. Металлические и керамические рекуператоры. Рекуператоры, работающие по конвективному, радиационному и сложному виду теплообмена. Конструкции и характеристики рекуператоров и регенераторов;

Тема 2.2 Рекуперативные и регенеративные горелочные блоки. Конструкции и тепловая работа рекуперативных и регенеративных горелочных блоков. Достоинства и недостатки рекуперативных и регенеративных горелочных блоков. Преимущества тепловых агрегатов, снабженных рекуперативными и регенеративными горелочными блоками;

Раздел 3 Основы эксплуатации и принципы конструирования промышленных теплообменников;

Тема 3.1 Основы промышленной эксплуатации рекуператоров и их защита от неблагоприятных производственных факторов. Причины разрушений рекуператоров и снижения их теплотехнических характеристик. Способы защиты рекуператоров от разрушений и перегрева. Роль систем автоматизации в повышении надежности работы рекуператоров;

Тема 3.2 Методика выбора рекуператоров. Выбор теплообменного аппарата, схемы теплообмена, марки стали. Требования к химическому составу, эксплуатационным характеристикам, теплофизическим параметрам металла, применяемому для конструирования рекуператоров;

Раздел 4 Основы теплового и аэродинамического расчетов промышленных теплообменников;

Тема 4.1 Основы теплового расчета теплообменников. Уравнение теплового баланса. Уравнение теплопередачи. Подготовка исходных данных для расчета. Расчет коэффициентов теплопередачи, среднелогарифмической разности температур, температуры разделительной стенки;

Тема 4.2 Основы аэродинамического расчета теплообменников. Подготовка исходных данных для расчета. Виды потерь давления на воздушном тракте рекуператора. Особенности расчета воздушного и дымового трактов промышленных рекуператоров.

## 5 Перечень тем лекций

| № раздела / темы дисциплины | Темы лекций | Трудоемкость, *академ.час* | |
|---|---|---|---|
| | | **всего** | **в форме практической подготовки** |
| Раздел 1. | Введение в теорию утилизации тепла уходящих дымовых газов промышленных тепловых агрегатов | | |
| Тема 1.1. | Влияние подогрева воздуха на технологические процессы тепловых агрегатов. Влияние температуры подогрева окислителя и топлива на процесс горения топлива. Улучшение условий смесеобразования топлива и воздуха в процессе горения. Обеспечение полноты окисления горючих элементов топлива в процессе горения топлива. Снижение расхода топлива в зависимости от эффективности утилизации тепла отходящих газов тепловых агрегатов. | 1 | |
| Тема 1.2. | Тепловая работа топливосжигающих устройств тепловых агрегатов на подогретом окислителе и топливе. Изменение геометрических характеристик газового и мазутного факелов в зависимости от температуры подогрева | 1 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | топливовоздушной смеси. Особенности выбора и тепловой работы топливосжигающих устройств на подогретом воздухе и газе. Особенности горения топлива на подогретом воздухе | | |
| Раздел 2. | Характеристика теплообменников промышленных тепловых агрегатов | | |
| Тема 2.1. | Конструкции и тепловая работа рекуперативных и регенеративных теплообменников. Классификация теплообменников. Классификация рекуператоров и регенераторов. Металлические и керамические рекуператоры. Рекуператоры, работающие по конвективному, радиационному и сложному виду теплообмена. Конструкции и характеристики рекуператоров и регенераторов | 1 | |
| Тема 2.2. | Рекуперативные и регенеративные горелочные блоки. Конструкции и тепловая работа рекуперативных и регенеративных горелочных блоков. Достоинства и недостатки рекуперативных и регенеративных горелочных блоков. Преимущества тепловых агрегатов, снабженных рекуперативными и регенеративными горелочными блоками | 1 | |
| Раздел 3. | Основы эксплуатации и принципы конструирования промышленных теплообменников | | |
| Тема 3.1. | Основы промышленной эксплуатации рекуператоров | 1 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | и их защита от неблагоприятных производственных факторов. Причины разрушений рекуператоров и снижения их теплотехнических характеристик. Способы защиты рекуператоров от разрушений и перегрева. Роль систем автоматизации в повышении надежности работы рекуператоров | | |
| Тема 3.2. | Методика выбора рекуператоров. Выбор теплообменного аппарата, схемы теплообмена, марки стали. Требования к химическому составу, эксплуатационным характеристикам, теплофизическим параметрам металла, применяемому для конструирования рекуператоров | 1 | |
| Раздел 4. | Основы теплового и аэродинамического расчетов промышленных теплообменников | | |
| Тема 4.1. | Основы теплового расчета теплообменников. Уравнение теплового баланса. Уравнение теплопередачи. Подготовка исходных данных для расчета. Расчет коэффициентов теплопередачи, среднелогарифмической разности температур, температуры разделительной стенки | 1 | |
| Тема 4.2. | Основы аэродинамического расчета теплообменников. Подготовка исходных данных для расчета. Виды потерь давления на воздушном тракте рекуператора. Особенности расчета воздушного и дымового трактов промышленных рекуператоров | 1 | |
| **Итого:** | | **8** | **0** |

## 6 Перечень тем практических занятий (семинаров)

| № раздела / темы дисциплины | Темы практических занятий (семинаров) | Трудоемкость, *академ.час* | |
|---|---|---|---|
| | | **всего** | **в форме практической подготовки** |
| Раздел 2. | Расчет теплового баланса рекуперативного теплообменника теплового агрегата | 4 | |
| Раздел 2. | Расчет коэффициента теплопередачи металлического рекуперативного теплообменника | 4 | |
| Раздел 3. | Расчет среднелогарифмической разности температур теплообменника радиационного типа | 2 | |
| Раздел 3. | Расчет геометрических размеров теплообменника радиационного типа | 2 | |
| Раздел 4. | Расчет аэродинамических потерь на тракте рекуперативного теплообменника | 4 | |
| **Итого:** | | **16** | **0** |

## 7 Перечень тем лабораторных работ

| № раздела / темы дисциплины | Темы лабораторных работ | Трудоемкость, *академ.час* | |
|---|---|---|---|
| | | **всего** | **в форме практической подготовки** |
| | *Отсутствуют* | | |
| **Итого:** | | **0** | **0** |

## 8 Перечень тем курсовых работ (проектов)

| № раздела / темы дисциплины | Темы курсовых работ (проектов) | Трудоемкость, *академ.час* | |
|---|---|---|---|
| | | **всего** | **в форме практической подготовки** |
| | *Отсутствуют* | | |
| **Итого:** | | **0** | **0** |

## 9 Виды самостоятельной работы

| № раздела / темы дисциплины | Виды самостоятельной работы | Трудоемкость, *академ.час* | |
|---|---|---|---|
| | | **всего** | **в форме** |

| | | | практической подготовки |
|---|---|---|---|
| Раздел 1. | 1. Изучение лекционного материала;<br>2. Подготовка реферата;<br>3. Прохождение тестирования. | 26 | |
| Раздел 2. | 1. Изучение лекционного материала;<br>2. Подготовка к практическому занятию;<br>3. Подготовка реферата;<br>4. Прохождение тестирования. | 25 | |
| Раздел 3. | 1. Изучение лекционного материала;<br>2. Подготовка к практическому занятию;<br>3. Подготовка реферата;<br>4. Прохождение тестирования. | 25 | |
| Раздел 4. | 1. Изучение лекционного материала;<br>2. Подготовка к практическому занятию;<br>3. Подготовка реферата;<br>4. Прохождение тестирования. | 26 | |
| *Контроль* | *Подготовка к экзамену* | 54 | |
| **Итого:** | | **156** | **0** |

## 10 Матрица компетентностных задач по учебной дисциплине

| Контролируемые разделы (темы) дисциплины | Контролируемые компетенции | Оценочные средства |
|---|---|---|
| Раздел 1. | ПК-2 | 1. Вопросы для устного обсуждения (опроса);<br>2. Реферат;<br>3. Тестовые задания |
| Раздел 2. | ПК-2 | 1. Вопросы для устного обсуждения (опроса);<br>2. Наблюдение за работой на практическом занятии;<br>3. Реферат;<br>4. Тестовые задания |
| Раздел 3. | ПК-2 | 1. Вопросы для устного обсуждения (опроса);<br>2. Наблюдение за работой на практическом занятии;<br>3. Реферат;<br>4. Тестовые задания |

| | | |
|---|---|---|
| Раздел 4. | ПК-2 | 1. Вопросы для устного обсуждения (опроса);<br>2. Наблюдение за работой на практическом занятии;<br>3. Реферат;<br>4. Тестовые задания |
| Экзамен. | ПК-2 | 1. Вопросы к экзамену;<br>2. Задачи к экзамену |

## 11 Входной контроль

**11.1 Цель входного контроля** − определить начальный уровень подготовленности обучающихся и выстроить индивидуальную траекторию обучения. В условиях личностно-ориентированной образовательной среды результаты входного оценивания обучающегося используются как начальные значения в индивидуальном профиле академической успешности обучающегося.

### 11.2 Описание оценочных средств

Форма проведения входного контроля – тестирование.

Длительность тестирования – 20 минут.

Тестирование проводится в течение первых двух недель изучения учебной дисциплины в СУО СибГИУ.

Для проведения тестирования используются тестовые задания для входного контроля (для ответа на 1 вопрос, как правило, выделяется 1 минута).

### Шкала оценивания результатов тестирования

За каждый правильный ответ выставляется 1 балл. Оценка выставляется в зависимости от процента правильных ответов:

Оценка формируется в соответствии с критериями таблицы:

| Процент результативности (правильных ответов) | Оценка |
|---|---|
| 86 до 100 | «отлично» |
| от 67до 85 | «хорошо» |
| от 50 до 66 | «удовлетворительно» |
| менее 50 | «неудовлетворительно» |

Основываясь на результатах тестирования, формируется индивидуальная траектория обучающегося (группы обучающихся), исходя из следующих соображений:

– 86 – 100 % – обучающийся готов к изучению учебной дисциплины без дополнительного повторения изученного ранее материала;

– 50 – 67 % – обучающийся в целом готов к изучению учебной дисциплины, требуется повторение отдельных вопросов(тем) изученного

ранее материала, необходимого для успешного освоения учебной дисциплины;

– 49% и менее – обучающийся имеет слабую подготовку к изучению учебной дисциплины, необходимы корректирующие занятия и консультации.

**Тестовые задания для входного контроля знаний обучающихся приведены в приложении.**

## 12 Текущий контроль

**12.1 Текущий контроль знаний** используется для оперативного и регулярного управления учебной деятельностью (в том числе самостоятельной) обучающихся. Данный вид контроля стимулирует у обучающихся стремление к систематической самостоятельной работе по изучению учебной дисциплины и позволяет оценить степень освоения изученного материала.

Текущий контроль успеваемости осуществляется в течение семестра, в ходе повседневной учебной работы по индивидуальной инициативе педагогического работника, в том числе посредством использования СУО СибГИУ.

Формы проведения текущего контроля – вопросы для устного обсуждения (опроса); наблюдение за работой на практическом занятии; реферат; тестовые задания.

### 12.2 Описание оценочных средств

### Шкалы оценивания (методики оценки)

#### 12.2.1 Рекомендации по оцениванию устных ответов обучающихся

С целью контроля и подготовки обучающихся к изучению новой темы в начале занятия лекционного типа (лекции) педагогическим работником проводится индивидуальный или фронтальный устный опрос по выполненным заданиям предыдущего раздела (темы).

**Критерии оценки:**

– правильность ответа по содержанию задания (учитывается количество и характер ошибок при ответе);

– полнота и глубина ответа (учитывается количество усвоенных фактов, понятий и т.п.);

– сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала);

– логика изложения материала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться специальной терминологией);

– рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели);

– своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается умение грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе);

– использование дополнительного материала (обязательное условие);

– рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени).

Оценка «отлично» ставится, если обучающийся:

– полно и аргументировано отвечает по содержанию задания;

– обнаруживает понимание материала, может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры, в том числе самостоятельно составленные;

– излагает материал последовательно и правильно.

Оценка «хорошо» ставится, если обучающийся дает ответ, удовлетворяющий тем же требованиям, что и для оценки «отлично», но допускает 1 – 2 ошибки, которые сам же исправляет.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если обучающийся обнаруживает знание и понимание основных положений данного задания, но:

– излагает материал неполно и допускает неточности в определении понятий или формулировке правил;

– не умеет достаточно глубоко и доказательно обосновать свои суждения и привести свои примеры;

– излагает материал непоследовательно и допускает ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если обучающийся обнаруживает незнание ответа на соответствующее задание, допускает ошибки в формулировке определений и правил, искажающие их смысл, беспорядочно и неуверенно излагает материал. Оценка «неудовлетворительно» отмечает такие недостатки в подготовке обучающегося, которые являются серьезным препятствием к успешному освоению последующего материала.

### 12.2.2 Рекомендации по оцениванию реферата

Написание реферата предполагает глубокое изучение обозначенной проблемы.

Критерии оценки реферата

| Наименование параметра оценки | Оценка |
|---|---|
| Выполнены все требования к написанию реферата: обозначена проблема и обоснована её актуальность, | отлично |

| Наименование параметра оценки | Оценка |
|---|---|
| сделан краткий анализ различных точек зрения на рассматриваемую проблему и логично изложена собственная позиция, сформулированы выводы, тема раскрыта полностью, выдержан объём, соблюдены требования к внешнему оформлению, достигнуто пороговое значение оригинальности реферата. | |
| Основные требования к реферату выполнены, в том числе достигнуто пороговое значение оригинальности реферата, но при этом допущены недочеты. В частности, имеются неточности в изложении материала; отсутствует логическая последовательность в суждениях; не выдержан объем реферата; имеются недочеты в оформлении. | хорошо |
| При достигнутом пороговом значении оригинальности реферата имеются существенные отступления от требований к реферированию. В частности, тема реферата освещена лишь частично; допущены фактические ошибки в содержании реферата. | удовлетворительно |
| Тема реферата не раскрыта, обнаруживается существенное непонимание в содержании проводимого исследования, невыполнение порогового значения оригинальности реферата (превышение объема некорректных заимствований). | неудовлетворительно |

### 12.2.3 Рекомендации по оцениванию результатов тестирования обучающихся

Тестирование проводится по изученным разделам (темам) учебной дисциплины для выявления уровня знаний и умений обучающегося, мотивирования обучающегося к активизации самостоятельной работы по усвоению учебного материала, выявления и устранения пробелов в знаниях, повышения дисциплины и организации учебной деятельности обучающегося.

Тестирование проводится в СУО СибГИУ в рамках часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся. Для тестирования используется 20 вопросов из базы типовых тестовых заданий по изученным разделам (темам) учебной дисциплины. Обучающийся выбирает один ответ из предложенных вариантов ответа. В случае выбора неправильного ответа обучающийся получает за данный вопрос 0 баллов; в случае правильного ответа – 1 балл.

Оценка формируется в соответствии с критериями таблицы:

| Максимальный балл | Проходной балл | Оценка |
|---|---|---|
| 20 | не менее 18 | отлично |
| 17 | не менее 14 | хорошо |
| 13 | не менее 10 | удовлетворительно |
| 9 | – | неудовлетворительно |

### 12.2.4 Рекомендации по оцениванию в процессе наблюдения за работой на практическом занятии

Наблюдение за работой на практическом занятии – важнейший компонент контроля деятельности обучающихся и качества их обучения.

**Критерии оценки в процессе наблюдения за работой на практическом занятии:**

– самостоятельность выполнения задания и работы с методическими указаниями (учитывается работа в течение занятия, быстрота и способность нахождения в методических указаниях нужной информации);

– правильность выполнения работы (учитывается последовательность выполняемых действий, умение работать с инструментами и/или средствами вычислительной техники);

– рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения работы с учетом индивидуальных особенностей обучающихся);

– активность обучающегося при выполнении практической работы (учитывается индивидуальная работа и работа в группе).

Критерии оценки по результатам наблюдения за работой на практическом занятии

| Наименование параметра оценки | Максимальное количество баллов |
|---|---|
| Самостоятельно выполняет задания; умеет работать с методическими указаниями. | 2,5 |
| Указанные в методических указаниях действия выполняет в правильной последовательности; умеет работать с инструментами и/или средствами вычислительной техники. | 1,25 |
| Рационально использует время, отведенное на задание; проявляет активность при выполнении практической работы. | 1,25 |
| **Итого** | **5** |

Максимальное количество – 5 баллов соответствует оценке «отлично», 4 балла – «хорошо», 3 балла – «удовлетворительно», 2 балла – «неудовлетворительно».

**Задания и вопросы для текущего контроля знаний обучающихся по разделам (темам) учебной дисциплины приведены в приложении.**

## 13 Промежуточная аттестация

**13.1 Оценочные материалы для промежуточной аттестации** обучающихся по учебной дисциплине предназначены для оценки степени достижения запланированных результатов обучения по завершению изучения учебной дисциплины в установленной учебным

планом форме и позволяют определить качество усвоения изученного материала.

Итоговой формой контроля сформированности компетенций у обучающихся по учебной дисциплине является: экзамен.

Оценочные материалы для промежуточной аттестации обучающихся включают: вопросы к экзамену; задачи к экзамену.

### 13.2 Оценивание обучающегося на экзамене

| Оценка | Требования к знаниям |
|---|---|
| отлично | Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал различной литературы, правильно обосновывает принятое нестандартное решение, обладает приемами выполнения практических задач по формированию компетенций. |
| хорошо | Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, обладает необходимыми умениями и приемами их выполнения. |
| удовлетворительно | Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, испытывает сложности при выполнении практических работ и затрудняется связать теорию вопроса с практикой. |
| неудовлетворительно | Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части программного материала, неуверенно отвечает, допускает серьезные ошибки, не имеет представлений по методике выполнения практической работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по данной учебной дисциплине. |

**Задания и вопросы для промежуточной аттестации обучающихся приведены в приложении.**

## 14 Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины

**а) литература:**

1 Гусовский, В. Л. Современные нагревательные и термические печи (конструкции и технические характеристики) : справочник / под ред. А. Б. Усачева. – Москва : Машиностроение, 2001. – 656 с. : ил.;

2 Теплогенерирующие установки : учебник для вузов / Г. Н. Делягин, В. И. Лебедев, Б. А. Пермяков, П. А. Хаванов. – Москва : Бастет, 2010. – 623 с. : ил.;

3 Быстрицкий, Г. Ф. Энергосиловое оборудование промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / Г. Ф. Быстрицкий. – 3-е изд., стер. – Москва : Академия, 2006. – 304 с. : ил. – (Высшее профессиональное образование).;

4 Теплотехника : учебник для вузов / В. А. Гуляев, Б. А. Вороненко, Л. М. Корнюшко, В. В. Пеленко [и др.]. – Санкт-Петербург : РАПП, 2009. – 345 с. : ил.;

5 Павловец, В. М. Рекуператоры для промышленных печей : учебное пособие для вузов / В. М. Павловец ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2012. – URL: https://library.sibsiu.ru/LibrEduMethodSectionsEditionsFilesDownload.asp?lngSection=18&lngEdition=1784&lngFile=1791&strParent=LibrEduMethodSectionsEditionsFiles (дата обращения: 02.04.2026);

6 Павловец, В. М. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы : учебное пособие для вузов / В. М. Павловец ; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2015. – URL: https://library.sibsiu.ru/LibrEduMethodSectionsEditionsFilesDownload.asp?lngSection=18&lngEdition=2911&lngFile=2868&strParent=LibrEduMethodSectionsEditionsFiles (дата обращения: 02.04.2026).

**б) ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:**

1 Электронный каталог : сайт / Научно-техническая библиотека СибГИУ. – Новокузнецк, [199 – ]. – URL: http://libr.sibsiu.ru. – URL: https://libr.sibsiu.ru;

2 Электронная библиотека // Научно-техническая библиотека СибГИУ : сайт. – Новокузнецк, [200 – ]. – URL: http://library.sibsiu.ru/LibrELibraryFullText.asp. – Режим доступа: для авторизир. пользователей. – URL: https://library.sibsiu.ru/LibrELibraryFullText.asp;

3 Консультант студента : электронно-библиотечная система / ООО «КОНСУЛЬТАНТ СТУДЕНТА». – Москва, [200 – ]. – URL: http://www.studentlibrary.ru. – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

4 ЛАНЬ : электронно-библиотечная система : [коллекция «Единая профессиональная база знаний для технических вузов - Издательство Лань" ЭБС»] / ООО «Издательство ЛАНЬ». – Санкт-Петербург, [200 – ]. – URL: http://e.lanbook.com. – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

5 Образовательная платформа ЮРАЙТ / ООО «Электронное издательство ЮРАЙТ». – Москва, [200 – ]. – URL: https://urait.ru. – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

6 Университетская библиотека онлайн : электронно-библиотечная система / ООО «Директ-Медиа». – Москва, [200 – ]. – URL: https://biblioclub.ru. – Режим доступа: для авторизир. пользователей. – URL: http://www.biblioclub.ru;

7 Электронная библиотека УМЦ ЖДТ : [коллекция «Эксплуатация железных дорог»] / ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». – Москва, [2013 – ]. – URL: https://umczdt.ru/books/. – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

8 НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА eLIBRARY.RU : база данных / ООО «НЭБ». – Москва, [200 – ]. – URL: http://elibrary.ru. – Режим доступа: по подписке;

9 Электронные периодические издания ИВИС : универсальная база данных / ООО «ИВИС». – Москва, [200 – ]. – URL: http://eivis.ru. – Режим доступа: по подписке.

**в) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

– 7-Zip;
– Adobe Acrobat Reader;
– Astra Linux Special Edition;
– Kaspersky Endpoint Security;
– Microsoft Office;
– Microsoft Windows;
– OnlyOffice;
– Р7-Офис;
– Сервис поиска текстовых заимствований Руконтекст.

**г) базы данных и информационно-справочные системы:**

1 ГАРАНТ : справочно-правовая система / ООО «Правовой центр «Гарант». – Кемерово, [200 – ]. – Режим доступа: компьютерная сеть Сиб. гос. индустр. ун-та.;

2 КонсультантПлюс : справочно-правовая система / ООО «Информационный центр АНВИК». – Новокузнецк, [199 – ]. – Режим доступа: компьютерная сеть библиотеки Сиб. гос. индустр. ун-та.;

3 Техэксперт : информационно-справочная система / ООО «Группа компаний «Кодекс». – Кемерово, [200 – ]. – Режим доступа: компьютерная сеть Сиб. гос. индустр. ун-та.

## 15 Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины включает учебные аудитории, оснащенные оборудованием, компьютерной техникой, и техническими средствами обучения, в том

числе:
- учебную аудиторию для проведения занятий лекционного типа, оборудованную учебной доской, экраном и мультимедийным проектором;
- учебную аудиторию для проведения занятий семинарского типа (практических занятий);
- учебную аудиторию (помещения) для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду, научно-техническую библиотеку СибГИУ.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Составитель(и):

доцент Павловец Виктор Михайлович (кафедра теплоэнергетики и экологии).

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и утверждена на заседании кафедры.

Согласована:
Заместитель начальника ПТО
Центральная ТЭЦ ООО «ЭнергоТранзит»  А. Ю. Поромов

## Приложение

### 1 Тестовые задания для входного контроля знаний обучающихся

Выберите один правильный ответ.

*1.* Что называют котельным агрегатом?
**O** энергетическое устройство, предназначенное для выработки горячей воды и перегретого пара заданного давления и температуры; **O** энергетическое устройство, предназначенное для выработки электроэнергии; **O** энергетическое устройство, предназначенное для выработки сжатого воздуха
*2.* Водогрейным котлом называется устройство для выработки …
**O** пара; **O** горячей воды заданного давления и температуры; **O** электроэнергии
*3.* Какова размерность паропроизводительности котельного агрегата?
**O** Т/ч (кг/с); **O** кг/м$^3$; **O** Вт/(м·К)
*4.* Какова размерность теплопроизводительности парогенератора?
**O** МВт; **O** МДж; **O** МДж/м$^3$
*5*. Какими параметрами характеризуется перегретый пар котельных агрегатов?
**O** давлением, температурой, расходом, сухостью; **O** скоростью; **O** импульсом
*6.* С какой целью организуют перегрев пара?
**O** для повышения температуры, давления и его энергетических характеристик; **O** для повышения теплового потока; **O** для повышения скорости
*7.* Что происходит в рабочем пространстве топки котла?
**O** кипение воды; **O** нагрев стали; **O** горение топлива и теплообмен между продуктами горения и тепловоспринимающими поверхностями котлоагрегата.
*8.* Преобразование химической энергии органического топлива в тепловую называется …
**O** горением; **O** парообразованием; **O** возгонкой
*9.* Какой ресурс позволяет экономить экономайзер парогенератора?
**O** топливо; **O** шихту; **O** воздух
*10*. Водяной экономайзер позволяет подогревать …
**O** воздух; **O** топливо; **O** воду
*11.* Топки с неподвижной решеткой и неподвижным слоем топлива относятся к …
**O** ручным или полумеханизированным агрегатам; **O** автоматизированным; **O** механическим
*12.* Топки с неподвижной решеткой и перемещающимся топливом относятся к:
**O** полумеханизированным или механизированным агрегатам; **O** механическим; **O** автоматизированным

*13.* Топки с движущейся колосниковой решеткой и слоем сжигаемого топлива относятся к … топкам

**O** механизированным; **O** ручным; **O** автоматизированным

*14.* Какая механизированная топка для сжигания кускового твердого топлива в промышленной теплоэнергетике имеет наибольшее распространение?

**O** с цепной колосниковой решеткой; **O** с ручной загрузкой; **O** с наклонным подом

*15.* В циклонной топке камера сгорания выполняется в виде:

**O** цилиндра; **O** конуса; **O** бункера

*16.* Тепловое напряжение топочного объема это отношение …

**O** тепловой мощности к объему топки; **O** тепловой мощности к весу огнеупоров; **O** тепловой мощности к скорости газов

*17.* При факельном сжигании твердого топлива применяют:

**O** измельченное пылеугольное или водоугольное топливо; **O** подогретый уголь; **O** кусковое топливо

*18.* Пылеугольное топливо для котлоагрегатов готовят путем:

**O** дробления и измельчения в шаровых мельницах; **O** пиролиза; **O** катализа

*19.* Для измельчения антрацита и каменного угля применяют:

**O** шаровые барабанные мельницы; **O** дробеструйную обработку; **O** торкретирование

*20.* Для размола бурых углей, горючих сланцев и торфа применяют:

**O** молотковые мельницы; **O** щековые дробилки; **O** циклоны

*21.* Для размола высоковлажных бурых углей и фрезерного торфа применяют:

**O** мельницы – вентиляторы; **O** циклоны; **O** дробеструйную обработку

*22.* Умягчение питательной воды осуществляют ……. методами

**O** термическим и химическим; **O** каталитическим; **O** теплофизическим

*23.* В прямоточном парогенераторе процесс парообразования протекает за ……проход теплоносителя

**O** один; **O** два, **O** три

*24.* Что называется топочными процессом в котлоагрегатах?

**O** складирование топлива и его сушка; **O** процессы теплогенерации и теплобмена; **O** конденсация и охлаждение пара.

*25.* Топки котлоагрегатов классифицируются на……

**O** вертикальные, горизонтальные, П, Т - образные; **O** большие и малые; **O** тепловые, силовые и технологические.

*26.* Топки котлоагрегатов делятся на……..

**O** слоевые, камерные, с П или Т – образной комконовкой ; **O** теплые и холодные; **O** силовые и технологические.

*27.* В топочном пространстве котлоагрегатов теплота продуктов горения передается ……

**O** воде и пару через металлическую разделительную стенку труб теплообменников; **O** воздуху; **O** каркасу котла.

*28.* Твердое топливо в котлоагрегатах сжигают в ……..
⭘ плотном слое, кипящем слое, взвешенном слое, пылегазовом факеле; ⭘ шлакосборнике; ⭘ дымоходе.
*29.* Газообразное топливо в котлоагрегатах сжигают в ……..
⭘ слое; ⭘ горелках; ⭘ форсунках.
*30.* С помощью каких устройств сжигают жидкое топливо в котлоагрегатах?
⭘ с помощью форсунок; ⭘ с помощью горелок; ⭘ с помощью фильтруемого слоя.

## 2 Задания и вопросы для текущего контроля знаний обучающихся по разделам (темам) учебной дисциплины

### Раздел 1. Введение в теорию утилизации тепла уходящих дымовых газов промышленных тепловых агрегатов

**1 Устный опрос на лекции**

Перечень вопросов для устного опроса:

1. Какие тепловые устройства в промышленности генерируют высокотемпературные уходящие дымовые газы?
2. Какие виды топлива являются источником дымовых газов в котлоагрегатах?
3. Какие газы образуется при сжигании топлива?
4. Какое газообразное топливо используется в промышленных котлоагрегатах для теплогенерации?
5. Какой вид твёрдого топлива используется в котлоагрегатах для выработки тепловой энергии?
6. Какое жидкое топливо используется в теплоэнергетике и в чем его преимущества по сравнению с твердым топливом?
7. При сжигании какого топлива образуются твердые частицы в уходящих продуктах горения?
8. Какие газы уносят из котлоагрегата тепловую энергию?
9. Какие газообразные компоненты содержатся в дымовых газах при полном сжигании топлива?
10. От каких горючих компонентов топлива зависит выход дымовых газов?

**2 Тестирование по результатам освоения лекционного материала и самостоятельной работы**

Тестирование проводится для определения степени усвоения материалов лекций, а также выполнения самостоятельной работы в рамках часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся, в СУО СибГИУ.

Перечень вопросов для тестирования:

Вопрос 1. Какие тепловые устройства в промышленности генерируют высокотемпературные уходящие дымовые газы?

**O** котельные агрегаты, промышленные печи, сушильные установки, технологические горны, работающие на органическом топливе**;** **O** рекуператоры**;** **O** дымовые трубы.

Вопрос 2. Какова цель промышленной безопасности применительно к технологии утилизации тепла уходящих газов?

**O** предотвращение и/или минимизация последствий аварий на опасных производственных объектах, к которым относятся высокотемпературные технологические установки. **O** экономия сжигаемого топлива**;** **O** экономия огнеупоров;

Вопрос 3. Что образуется в котельных агрегатах при сжигании топлива?

**O** уходящие топочные газы; **O** вторичное сырьё; **O** гидрооксиды.

Вопрос 4. Какое газообразное топливо чаще всего используется в промышленных котлоагрегатах для теплогенерации?

**O** природный газ; **O** генераторный газ; **O** угарный газ.

Вопрос 5. Какое твёрдое топливо преимущественно используется в котлоагрегатах для теплогенерации?

**O** каменный и бурый уголь**;** **O** дрова**;** **O** торф.

Вопрос 6. Какое жидкое топливо используется в промышленной теплоэнергетике чаще всего для теплогенерации?

**O** топочный мазут и печное топливо; **O** бензин и дизтопливо; **O** керосин.

Вопрос 7. При сжигании какого органического топлива в продуктах горения образуются твердые частицы?

**O** каменный и бурый уголь; **O** мазут; **O** керосин.

Вопрос 8. Какую энергию уносят из котлоагрегата уходящие дымовые газы?

**O** тепловую**;** **O** механическую; **O** электрическую.

Вопрос 9. Какой газообразный компонент содержится в уходящих дымовых газах тепловых агрегатов в максимальном количестве?

**O** азот**;** **O** кислород; **O** водород

Вопрос 10. Что означает термин промышленная безопасность?

**O** состояние защищенности физических и юридических лиц, окружающей среды от аварий и их последствий на опасных производственных объектах, к которым относятся высокотемпературные технологические установки; **O** состояние защищенности физических и юридических лиц от неблагоприятной окружающей среды; **O** состояние защищенности физических и юридических лиц от промышленных кризисов.

Вопрос 11. Какие компоненты дымовых газов определяют их окислительную способность по отношению к металлу?

**O** кислород и водяные пары; **O** водород и азот; **O** метан и пропан.

Вопрос 12. С какой целью утилизируют тепло уходящих дымовых газов?

⭘ для снижения расхода технологического топлива и повышения кпд тепловой установки; ⭘ для снижения расхода окислителя; ⭘ для снижения температуры газов.

Вопрос 13. Что характеризует степень утилизации тепла уходящих газов?

⭘ долю полезно утилизированного тепла уходящих газов**;** ⭘ долю рециркуляции газов; ⭘ долю окислителя в дымовых газах.

Вопрос 14. Какова доля утилизированного тепла уходящих топочных газов различных типов котлоагрегатов?

⭘ 0,5-0,8; ⭘ 0,1-0,2; ⭘ 0,8-1,0.

Вопрос 15. Назовите опасные и вредные производственные факторы прокатного производства, на котором эксплуатируются высокотемпературные рекуперативные установки, утилизирующие теплоту уходящих газов.

⭘ повышенные температуры поверхностей и воздуха рабочей зоны; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся заготовки и изделия; движущиеся машины и механизмы; повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; повышенный уровень шума на рабочем месте; опасность поражения электрическим током; ⭘ повышенная вибрация; ⭘ повышенная радиация.

## Тестовые задания с открытым ответом

Вопрос 16. Что является источником тепловой энергии в топке котельного агрегата, предназначенного для производства нагретой воды и перегретого пара?

Вопрос 17. Что является теплоприёмником в топках котлов?

Вопрос 18. Как изменяется температура и тепловой потенциал уходящих газов по дымовому тракту котельного агрегата?

Вопрос 19. Каким образом можно увеличить расход уходящих газов на дымовом тракте и тем самым снизить температуру ограждающих поверхностей рекуператора?

Вопрос 20. На какие технологические показатели котельного агрегата влияет степень утилизации тепла уходящих газов?

Вопрос 21. Какой тепловой показатель теплообменника связан со степенью утилизации тепла уходящих газов?

Вопрос 22. Куда поступает утилизированная от дымовых газов промышленных печей и котлоагрегатов теплота в рекуператоре?

Вопрос 23. Куда направляется нагретый воздух после утилизации тепла уходящих газов?

Вопрос 24. Что в топливосжигающих устройствах в процессе горения дает подогрев воздуха, идущего на сжигание топлива в промышленных печах и котлоагрегатах?

Вопрос 25. Какие действия необходимо предпринять для защиты обслуживающего персонала от нагретой поверхности воздуховода горячего воздуха, идущего от рекуператора?
Вопрос 26. Как изменяется процесс горения жидкого топлива на подогретом воздухе горения и как он влияет на образование химического недожега?
Вопрос 27. Изменятся ли статьиприходной части теплового баланса теплового агрегата после организации подогрева воздуха в рекуперaторе?
Вопрос 28. Какую статью (приходную или расходную) теплового баланса печи или котлоагрегата формирует подогретый воздух?
Вопрос 29. Как называется статья приходной части теплового баланса с подогретым воздухом?
Вопрос 30. Какие параметры необходимо знать, чтобы рассчитать физическую теплоту подогретого воздуха или газообразного топлива, сформированной после утилизации теплоты уходящих газов котлоагрегатов?

## Раздел 2. Характеристика теплообменников промышленных тепловых агрегатов

### 1 Устный опрос на лекции

Перечень вопросов для устного опроса:

1. Какие виды теплообменников используют для утилизации тепла уходящих газов котлоагрегатов и промышленных печей?
2. Какие теплообменники непрерывного действия используют для нагрева воздуха горения или газообразного топлива?
3. Какие теплообменники используют для нагрева воды в котлоагрегате?
4. С какой целью используют теплообменники для нагрева пара в котлоагрегате?
5. В каких теплообменниках периодического действия используют керамическую насадку?
6. Какие конструкционные материалы используют для сооружения теплообменников непрерывного действия?
7. Какие технические мероприятия реализуют для обеспечения промышленной безопасности?
8. Какую керамику используют для изготовления насадок теплообменников периодического действия?
9. Какую сталь используют для сооружения рекуператоров?
10. Какие легирующие металлы содержит жаропрочная сталь рекуператоров печей и воздухоподогревателей котельных агрегатов?

## 2 Тестирование по результатам освоения лекционного материала и самостоятельной работы

Тестирование проводится для определения степени усвоения материалов лекций, а также выполнения самостоятельной работы в рамках часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся, в СУО СибГИУ.

Перечень вопросов для тестирования:

Вопрос 1. Какие устройства в теплотехнике и теплоэнергетике используют для утилизации тепла уходящих газов?

**o** рекуперативные и регенеративные теплообменники**; o** форсунки; **o** горелки

Вопрос 2. Какие устройства непрерывного действия используют для нагрева воздуха в тепловых агрегатах?

**o** рекуператоры**; o** форсунки; **o** горелки

Вопрос 3. Какие теплообменники используют для нагрева воды в котельном агрегате с помощью теплоты уходящих газов?

**o** экономайзеры; **o** форсунки**; o** сепараторы

Вопрос 4. Какие теплообменники используют для дополнительного нагрева пара?

**o** пароперегреватели**; o** экономайзеры; **o** регенераторы

Вопрос 5. В каких теплообменниках используют шаровую или блочную керамическую насадку?

**o** в регенеративных теплообменниках периодического действия; **o** в рекуператорах; **o** в экономайзерах;

Вопрос 6. Какие материалы используют в теплообменниках и газопроводах нагретых газов для снижения потерь тепловой энергии и защиты персонала от термических травм?

**o** рулонную тепловую изоляцию**; o** огнеупоры; **o** бетон

Вопрос 7. Какие теплообменники относятся к устройствам периодического действия?

**o** регенераторы**; o** рекуператоры; **o** смесители

Вопрос 8. Какие материалы используют для изготовления широкого спектра теплообменников?

**o** сталь, керамику, медь, алюминий**; o** резину, стекло; **o** дерево, бетон

Вопрос 9. Требуется снизить температуру наружной поверхности теплообменника установкой тепловой изоляции, вентиляторным обдувом и водяным орошением корпуса устройства. Какое решение вы примете?

**o** установка тепловой изоляции существенно ниже по стоимости и в эксплуатации; **o** вентиляторный обдув корпуса устройства; **o** водяное орошение

Вопрос 10. Какие металлы содержит легированная жароупорная сталь?

⭘ хром, никель, кобальт, ванадий, молибден; ⭘ медь, алюминий; ⭘ свинец

Вопрос 11. Какое основное преимущество керамических рекуператоров?

⭘ долговечность; ⭘ масса; ⭘ габариты

Вопрос 12. У каких материалов теплообменников, включенных в технологию утилизации тепла уходящих газов тепловых агрегатов, выше температура поверхности, и как это влияет на промышленную безопасность?

⭘ у металлических температура выше, что увеличивает вероятность получения термических травм обслуживающим персоналом; ⭘ у керамических температура ниже; ⭘ у резиновых температура не меняется

Вопрос 13. Какой вид теплообмена протекает между отходящими дымовыми газами и наружной поверхностью рекуператора?

⭘ конвекция, излучение; ⭘ теплопроводность; ⭘ сложный

Вопрос 14. Какой вид теплообмена протекает в радиационных рекуператорах между высокотемпературными отходящими газами и поверхностью рекуператора?

⭘ излучение; ⭘ конвекция; ⭘ теплопроводность

Вопрос 15. Какие газы в продуктах горения топлива являются излучающими?

⭘ $CO_2$, $H_2O$, CO**;** ⭘ $N_2$; ⭘ $O_2$

Тестовые задания с открытым ответом

Вопрос 16. Какие теплообменники для нагрева воздуха наиболее распространены в промышленной теплоэнергетике?

Вопрос 17. Какие тупбулизаторы используют для повышения теплопередачи в металлических теплообменниках тепловых агрегатов?

Вопрос 18. Какие конструктивные элементы используют в качестве турбулизаторов потока?

Вопрос 19. Какой газовый слой разрушают в отходящих газах турбулизаторы потока?

Вопрос 20. С какой целью высокотемпературные дымопроводы снабжают тепловой изоляцией?

Вопрос 21. Какие режимы движения газов существуют в технике?

Вопрос 22. По каким режимам работают рекуператоры тепловых устройств?

Вопрос 23. В каком направлении при прямотоке движутся теплоноситель и теплоприемник в теплообменнике?

Вопрос 24. В каком направлении при противотоке движутся теплоноситель и теплоприемник?

Вопрос 25. При каком режиме движения газов при работе рекуператора температура стенки рекуператора ниже и как это влияет на условия промышленной безопасности?
Вопрос 26. Что происходит с температурой стенки по длине рекуператора при противотоке?
Вопрос 27. Что происходит с температурой дымовых газов после рекуператора?
Вопрос 28. Что происходит с температурой воздуха по длине рекуператора?
Вопрос 29. Каким коэффициентом характеризуется интенсивность передачи тепла от дымовых газов к воздуху через разделительную стенку?
Вопрос 30. Как влияют пылевые отложения на стенках рекуператора на коэффициент теплопередачи?

## Раздел 3. Основы эксплуатации и принципы конструирования промышленных теплообменников

### 1 Устный опрос на лекции

Перечень вопросов для устного опроса:

Вопрос 1. Какие требования предъявляют к безопасной эксплуатации рекуператоров и других теплообменников, установленных на тепловых агрегатах?

Вопрос 2. Какие параметры необходимо задавать при конструировании рекуператоров?

Вопрос 3. Из каких основных конструктивных элементов состоит металлический трубчатый рекуператор?

Вопрос 4. Почему игольчатый рекуператор носит такое название?

Вопрос 5. Какой вид теплообмена протекает на дымовой стороне теплообменников непрерывного действия?

Вопрос 6. Что является основным элементом керамического рекуператора?

Вопрос 7. Какой вид теплообмена реализуется на воздушной стороне теплообменников непрерывного действия?

Вопрос 8. Как называется комбинированные устройства, сочетающие функции теплообменника и сожигательного устройства?

Вопрос 9. Какие преимущества у рекуперативногорелочных блоков?

Вопрос 10. В каком виде используется тепловая изоляция на нагретых поверхностях трубопроводов и корпусов теплообменников, предназначенная для обеспечения условий промышленной безопасности?

## 2 Тестирование по результатам освоения лекционного материала и самостоятельной работы

Тестирование проводится для определения степени усвоения материалов лекций, а также выполнения самостоятельной работы в рамках часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся, в СУО СибГИУ.

Перечень вопросов для тестирования:

Вопрос 1. Что подразумевает термин безопасность эксплуатации в рамках промышленной безопасности при работе рекуператора?

**o** безаварийность, исключение термических травм, надежность и отсутствие отказов в работе**;** **o** производительность; **o** стабильность.

Вопрос 2. Что включают основные принципы конструирования теплообменников и рекуператоров?

**o** надежность, долговечность и генерация высоких теплотехнических показателей работы**;** **o** стабильность и эстетичность; **o** производительность и бесшумность.

Вопрос 3. Из какого материала выполняют элементы трубчатых рекуператоров?

**o** металлические трубы из жароупорной стали**;** **o** деревянные доски; **o** медные стержни.

Вопрос 4. Какой основной элемент игольчатых рекуператоров?

**o** игольчатая секция; **o** керамический блок**;** **o** металлическая труба.

Вопрос 5. Какой вид тепловой изоляции используется для снижения тепловых потерь и обеспечения промышленной безопасности теплообменников печей и воздухоподогревателей парогенераторов?

**o** волокнистые рулонные или блочные; **o** сыпучий; **o** бетонный.

Вопрос 6. Что является основным элементом керамического рекуператора?

**o** керамический блок**;** **o** чугунная труба; **o** деревянная доска.

Вопрос 7. Рекуператор - это теплообменник, в котором теплота от остывающих дымовых газов ……передается нагреваемому воздуху или газу?

**o** периодически**;** **o** непрерывно; **o** циклически.

Вопрос 8. Что является основным элементом регенератора?

**o** керамическая фасонная или зерновая насадка; **o** пыль; **o** стена.

Вопрос 9. В каком виде используется керамическая насадка промышленного регенератора?

**o** шаров, зерен, блоков, насадок; **o** шлаков и пыли; **o** отходов.

Вопрос 10. Какие опасные газы для здоровья человека могут находиться в уходящих дымовых газах печей и парогенераторов?

**o** монооксид углерода, диоксид серы, оксиды азота; **o** кирпичей; **o** блоков.

Вопрос 11. Блочная керамическая насадка керамических рекуператоров выполняется из …

**o** фасонных блоков; **o** кирпичей; **o** шаров.

Вопрос 12. Что предполагает газоплотность рекуператора печи или воздухоподогревателя парогенератора?

⭘ отсутствие выбиваний уходящих газов, нагреваемого воздуха или газообразного топлива; ⭘ протечек; ⭘ ремонта.

Вопрос 13. Что предполагает термин надежность рекуператора?

⭘ запланированный срок службы и сохранение эксплуатационных показателей; ⭘ запланированный уровень температур; ⭘ запланированный уровень давления.

Вопрос 14. Каким образом можно исключить образование монооксида углерода, находящегося в уходящих дымовых газах печей и парогенераторов, и тем самым повысить уровень промышленной безопасности и окружающей среды?

⭘ организацией эффективного режима горения топлива; ⭘ заменой топлива; ⭘ применением кислорода.

Вопрос 15. Каким методом изготавливают металлические рекуператоры?

⭘ сваркой стальными электродами или литьем игольчатых блоков; ⭘ прессованием; ⭘ штамповкой.

Тестовые задания с открытым ответом

Вопрос 16. Какая аэродинамическая схема рекуператора обеспечивает наибольший коэффициент теплопередачи?_____

Вопрос 17. Какая схема рекуператора обеспечивает постоянство температур стенки теплообменника и его наибольшую надежность? _____

Вопрос 18. Какой рекуператор обеспечивает наибольшую долговечность? _____

Вопрос 19. Какой предельный уровень температур должен быть у разделительной стенки металлического рекуператора? _____

Вопрос 20. Какой коэффициент теплопередачи, Вт/(м$^2$·К), должен обеспечивать трубчатый петлевой рекуператор, работающий по конвективному режиму? _____

Вопрос 21. Какую размерность имеет коэффициент теплопередачи рекуператора? _____

Вопрос 22. Какой теплообменник выбирают, если температура уходящих газов у теплового агрегата менее 500-800 $^o$C? _____

Вопрос 23. Какой теплообменник выбирают, если температура уходящих газов не выше 1000 $^o$C? _____

опрос 24. Какой теплообменник выбирают для утилизации теплоты уходящих газов теплового агрегата, если их температура более 1000-1200 $^o$C? _____

Вопрос 25. От чего защищают рекуператор при эксплуатации?

Вопрос 26. Чем снижают температуру дымовых газов при защите рекуператора от перегрева? _____

Вопрос 27. В какую систему включена конструкция рекуператора от перегрева? _____
Вопрос 28. В каком случае требуется защита рекуператора от перегрева? _____
Вопрос 29. Какими защитными средствами снабжают вентилятор, подающий холодный воздух в дымоход при защите рекуператора? _____
Вопрос 30. Какая предельная температура должна быть на поверхности корпуса теплообменника по условиям техники безопасности? _____

**Раздел 4. Основы эксплуатации и принципы конструирования промышленных теплообменников**

**1 Устный опрос на лекции**

Перечень вопросов для устного опроса:

Вопрос 1. Какие параметры вычисляют при тепловом расчете рекуператоров?
Вопрос 2. Какие габаритные размеры рекуператора вычисляют, зная площадь теплообмена?
Вопрос 3. Какие габаритные размеры рекуператора должен быть согласованы с габаритами дымового канала?
Вопрос 4. Какие технологические преимущества, включая условия промышленной безопасности, существуют у подземного дымохода промышленной печи по сравнению с надземным дымоходом?
Вопрос 5. С какой целью сооружают обводной боров печи?
Вопрос 6. Что нужно знать, чтобы вычислить коэффициент теплопередачи?
Вопрос 7. Какими способами можно повысить коэффициент теплопередачи рекуператора?
Вопрос 8. По какой формуле вычисляют среднелогарифмическую разность температур теплообменника и что она показывает?
Вопрос 9. Какие аэродинамические режимы работы теплообменника нужно задать, чтобы вычислить среднелогарифмическую разность температур?
Вопрос 10. Какой режим движения теплоносителя и теплоприемника обеспечивает наиболее эффективный режим теплообмена?

**2 Тестирование по результатам освоения лекционного материала и самостоятельной работы**

Тестирование проводится для определения степени усвоения материалов лекций, а также выполнения самостоятельной работы в

рамках часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся, в СУО СибГИУ.

Перечень вопросов для тестирования:

Вопрос 1. Какова цель теплового расчета рекуператоров?

O расчет площади теплообмена и габаритных размеров теплообменника; O расчет скорости воздуха; O расчет температуры футеровки

Вопрос 2. Какие параметры теплообменника вычисляют, зная площадь теплообмена рекуператора?

O габариты (длину, ширину, высоту, количество труб, число проходов воздуха); O коэффициент теплопередач; O теплоемкость

Вопрос 3. С какими габаритами дымохода должны быть согласованы размеры рекуператора при его расчете?

O шириной и высотой; O длиной; O диаметром

Вопрос 4. Подземный дымоход промышленной печи это - …?

O боров; O газопровод; O байпас

Вопрос 5. Как называется обводной канал для дымовых газов, обходящий теплообменник с одной из сторон при ремонте или техническом обслуживании?

O байпас; O газопровод; O шибер

Вопрос 6. Каким образом можно вычислить коэффициент теплопередачи?

O расчетом, зная коэффициенты теплоотдачи на дымовой и воздушной сторонах, толщину и коэффициент теплопроводности стенки теплообменника, тепловой поток и среднелогарифмическую разность температур; O анализом; O подбором

Вопрос 7. По какой формуле вычисляют коэффициент теплопередачи по условиям теплообмена между горячими уходящими газами теплового устройства и нагреваемым воздухом в рекуператоре?

O $K=1/(\alpha_В+\alpha_Д+R)$; O $K=\alpha_В+\alpha_Д+R$ ; O $K=\alpha_В/\alpha_Д+R$

Вопрос 8. По какой формуле вычисляют среднелогарифмическую разность температур в теплообменнике?

O $\Delta t=(\Delta t_1-\Delta t_2)/2{,}3\ \lg\Delta t_1/\Delta t_2$; O $\Delta t=(\Delta t_1-\Delta t_2)\cdot 2{,}3\ \lg\Delta t_1/\Delta t_2$ ; O $\Delta t=2{,}3\ \lg\Delta t_1/\Delta t_2$

Вопрос 9. Что нужно знать, чтобы вычислить среднелогарифмическую разность температур?

O схему теплообмена и температурные разности на входе и выходе из теплообменника; O схему печи; O схему котла.

Вопрос 10. Почему при проектировании теплообменников, сооружаемых для технологии утилизации теплоты уходящих газов, предпочтение отдают нагреву воздуха, а не газообразному топливу?

O по условиям промышленной безопасности и большей вероятности взрыва или аварии на дымовом тракте; O по финансовым условиям; O по юридическим условиям

Вопрос 11. Назовите технические мероприяти, необходимые для обеспечения промышленной безопасности промышленных печей, снабженных теплообменниками для утилизации тепда уходящих газов.
⭘ Площадки для обслуживания печей не должны опираться на своды; печи, работающие с защитной атмосферой, должны быть герметичными; печи, работающие непрерывно, должны быть оборудованы устройством для сжигания или улавливания защитных газов; токоподводы и оголенные токоведущие части печей должны быть ограждены и иметь предупредительные надписи; ограждения должны быть заземлены; щиты управления электропечей должны иметь сигнальные лампочки; печи термических агрегатов должны быть оборудованы КИП и системой автоматического регулирования температуры; расстояние между оборудованием, установленным в линию для конвейерных печей и печей с выдвижным подом, должно быть не менее 3,0 м; печи с выдвижным подом должны иметь блокировку открывания двери и звуковую сигнализацию; на пороге печи должен быть установлен барьер с упорами; над окнами загрузки и выдачи металла должны устанавливаться местные отсосы; газы перед выбросом их в атмосферу должны очищаться; должен быть обеспечен контроль за предельно допустимыми концентрациями вредных веществ в воздухе рабочей зоны; ⭘ организационно-технические; ⭘ юридические
Вопрос 12. Какой параметр дымовых газов вычисляют, составляя тепловой баланс рекуперативного теплобменника?
⭘ конечную температуру за рекуператором; ⭘ расход; ⭘ теплоемкость
Вопрос 13. Что нужно задать для вычисления коэффициента теплоотдачи рекуператора?
⭘ схему теплообмена, температуры и скорости дыма и воздуха, схему теплообмена, температуры и теплофизические характеристики воздуха, уходящих дымовых газов; ⭘ тепловой поток; ⭘ теплоемкость
Вопрос 14. Какие параметры входят в тепловой баланс рекуператора?
⭘ расход, теплоемкость (энтальпия), температуры на дымовой и воздушной сторонах, коэффициент потерь теплоносителя; ⭘ вязкость, давление; ⭘ давление, скорость
Вопрос 15. По какой формуле вычисляют коэффициент теплопередачи, используя тепловой баланс?
⭘ $K=Q/F\cdot\Delta t$; ⭘ $K=QF\cdot\Delta t$; ⭘ $K=QF/\Delta t$

Тестовые задания с открытым ответом

Вопрос 16. По какой формуле вычисляют количество тепла, пошедшего на нагрев воздуха в рекуператоре? _____
Вопрос 17. По какой формуле вычисляют площадь теплообмена рекуператора? _____

Вопрос 18. Какова средняя температура нагрева воздуха в рекуператорах промышленных печей? _____
Вопрос 19. Назовите среднюю температуру нагрева воздуха в регенераторах промышленных печей. _____
Вопрос 20. Какова средняя температура нагрева воды в экономайзере уходящими газами котельного агрегата? _____
Вопрос 21. Средняя температура нагрева пара в пароперегревателе? _____
Вопрос 22. Что является целью аэродинамического расчета рекуператора? _____
Вопрос 23. Какие газовые тракты тепловых объектов, генерирующих уходящие дымовые газы, подлежат расчету? _____
Вопрос 24. Какие виды аэродинамических потерь давления на газовом тракте теплового устройства зависят от размеров канала? _____
Вопрос 25. Какие виды потерь давления на газовом тракте зависят от конфигурации канала и направления движения теплоносителя? _____
Вопрос 26. При каком режиме движения газа на тракте рекуператора потери давления выше и почему? _____
Вопрос 27. Какие режимы движения газов существуют на дымовых трактах? _____
Вопрос 28. По какому числу подобия определяют режим движения воздуха или уходящих газов? _____
Вопрос 29. По какому выражению вычисляют число подобия Рейнольдса и какова его роль в аэродинамических расчетах? _____
Вопрос 30. По какому выражению вычисляют потери давления на трение при движении газов в гидравлически шероховатых каналах и трубах при расчете теплообменников? _____

## 3 Подготовка реферата

Рефераты подготавливаются в рамках часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся, с целью определения степени усвоения материалов лекций, а также выполнения самостоятельной работы.

Темы разделов реферата представлены в таблице:

Таблица – Темы разделов реферата для самостоятельной работы

| № раздела дисциплины | Темы разделов реферата |
|---|---|
| 1 | Роль технологии утилизации теплоты уходящих газов в знергосбережении и влияние подогрева топлива и воздуха на технологические процессы в тепловых агрегатах. |

| | |
|---|---|
| 2 | Конструкции и тепловая работа воздухоподогревателей котельных агрегатов с учетом требований промышленной безопасности, предъявляемых к опасному производственному объекту. |
| 3 | Выбор теплообменного аппарата промышленной печи с учетом требований промышленной безопасности. |
| 4 | Основы теплового расчета теплообменников промышленных печей и воздухоподогревателей парогенераторов. |

Объем раздела реферата составляет 10 – 15 страниц машинописного текста формата А4, шрифт Times New Roman 14 пт, междустрочный интервал – полуторный.

Реферат загружается обучающимся в СУО СибГИУ.

## 5 Выполнение практических работ

Задания для практических работ, теоретический и методический материал для самостоятельного изучения и вопросы для собеседования представлены в методических указаниях к практическим занятиям.

## 6 Вопросы к экзамену для промежуточной аттестации

1. Характеристика тепловых устройств в промышленности, генерирующих высокотемпературные уходящие дымовые газы.
2. Тепловая работа котельного агрегата, работающего на подогретом уходящими газами воздухе и питательной воде.
3. Характеристика высокотемпературных уходящих газов тепловых устройств, работающих на различных видах топлива.
4. Влияние температуры подогрева окислителя и топлива на эффективность процесса теплогенерации.
5. Структура теплового баланса парогенератора, работающего на газообразном топливе и подогретом воздухе и топливе.
6. Снижение расхода технологического и условного топлива в зависимости от эффективности утилизации тепла отходящих газов тепловых агрегатов.
7. Характеристика тепловых устройств в промышленности, генерирующих высокотемпературные уходящие дымовые газы, как опасных производственных объектов и требования промышленной безопасности к ним.
8. Экологические аспекты горения топлива и способы снижения вредностей в уходящих газах при сжигании органического топлива на подогретом воздухе.
9. Особенности выбора и тепловой работы топливосжигающих устройств котельных агрегатов, работающих на подогретом воздухе.
10. Классификация теплообменников, работающих в системе утилизации тепла уходящих газов.

11. Конструкции металлических и керамических рекуператоров, работающих по конвективному, радиационному и сложному виду теплообмена.

12. Тепловые и эксплуатационные характеристики рекуперативных теплообменников.

13. Конструкции и тепловые характеристики регенеративных теплообменников.

14. Преимущества промышленных печей, снабженных рекуперативными и регенеративными горелочными блоками.

15. Компоновка промышленных печей и парогенераторов, содержащих теплообменники, утилизирующие тепло уходящих газов.

16. Компоновка тепловых устройств с теплообменниками, утилизирующими тепло уходящих газов, с учетом требований промышленной безопасности.

17. Причины разрушений теплообменников, утилизирующих тепло уходящих газов, и снижения их теплотехнических характеристик.

18. Способы защиты рекуператоров от разрушений и перегрева.

19. Роль систем автоматизации в повышении надежности работы теплообменников тепловых устройств.

20. Выбор теплообменного аппарата, схемы теплообмена, марки стали, вида компоновки с нагревательным устройством.

21. Требования к химическому составу, эксплуатационным характеристикам, теплофизическим параметрам металла, применяемому для конструирования рекуператоров.

22. Анализ температурного поля и уравнения теплового баланса рекуперативного теплообменника, работающего при прямоточном и противоточном режиме работы с учетом требований промышленной безопасности.

23. Анализ температурного поля и уравнения теплопередачи рекуперативного теплообменника, работающего в перекрестном токе с учетом требований промышленной безопасности.

24. Подготовка исходных данных для расчета рекуперативного теплообменника.

25. Расчет коэффициентов теплопередачи, среднелогарифмической разности температур, температуры разделительной стенки и теплозащитного ограждения.

26. Методика выбора и конструирования промышленных теплообменников, включенных в систему утилизации тепла уходящих газов.

27. Характеристика потерь давления на газовых трактах воздухоподогревателя и топочного пространства котлоагрегата.

28. Особенности аэродинамического расчета воздушного тракта рекуперативных теплообменников промышленных печей и выбора дутьевых вентиляторов.

29. Влияние запыленности дымовых газов на тепловую и гидравлическую работу воздухоподогревателей парогенераторов, работающих на твердом топливе.

30. Способы повышения надежности тепловой работы промышленных теплообменников, утилизирующих тепло уходящих газов.

## 7 Задачи к экзамену для промежуточной аттестации

1 Рассчитайте тепловое сопротивление металлического воздухопровода горячего воздуха, идущего от воздухоподогревателя парогенератора, если толщина трубы воздухопровода ($b_1$) составляет 0,005 м, а коэффициент теплопроводности стали ($\lambda_1$) равен 44,5 Вт/(м×К). Покажите, во сколько раз увеличится тепловое сопротивление стенки трубы, если поверхность воздухопровода теплоизолировать рулонами тепловой изоляции на основе минеральной ваты, необходимой для снижения тепловых потерь и для соблюдения требований промышленной безопасности. Толщина тепловой изоляции составляет ($b_2$) 0,1 м, коэффициент теплопроводности ($\lambda_2$) принять равным 0,25 Вт/(м× К).

2 Тепловое сопротивление воздухопровода горячего воздуха, идущего от воздухоподогревателя парогенератора, снабженного рулонной тепловой изоляцией на основе минеральной ваты, необходимой для снижения тепловых потерь и для соблюдения требований промышленной безопасности ($R_1$), составляет 0,40 К/Вт. Покажите, во сколько раз увеличится тепловое сопротивление, если между поверхностью воздухопровода и тепловой изоляцией расположить металлическую сетку, формирующую теплоизоляционный воздушный зазор толщиной ($b_2$) 0,005 м. Коэффициент теплопроводности воздуха ($\lambda_2$) принять равным 0,025 Вт/(м× К).

3 Рассчитайте тепловое сопротивление металлического кожуха радиационного рекуператора промышленной печи, теплоизолированного рулонами тепловой изоляции на основе минеральной ваты, необходимой для снижения тепловых потерь и для соблюдения требований промышленной безопасности. Толщина стенки кожуха ($b_1$) составляет 0,002 м, а коэффициент теплопроводности стали ($\lambda_1$) равен 44,5 Вт/(м×К). Толщина тепловой изоляции на основе минеральной ваты составляет ($b_2$) 0,1 м, коэффициент теплопроводности ($\lambda_2$) равен 0,25 Вт/(м× К). Покажите расчетом, во сколько раз изменится тепловое сопротивление стенки кожуха рекуператора, если в качестве тепловой изоляции использовать пенополистирол той же толщины ($b_2$), имеющий коэффициент теплопроводности ($\lambda_3$), равный 0,05 Вт/(м× К)?

4 Рассчитайте плотность теплового потока с поверхности воздухопровода горячего воздуха, идущего от воздухоподогревателя

парогенератора, на длине 1 м, если тепловое сопротивление воздухопровода ($R_1$) составляет $10^{-4}$ К/Вт, а разность температур на поверхностях стенки ($\Delta t$) воздухопровода равняется 100 $^oC$. Покажите, во сколько раз уменьшится плотность теплового потока с поверхности воздухопровода, если на его поверхности установить рулонную тепловую изоляцию на основе минеральной ваты, необходимую для снижения тепловых потерь и для соблюдения требований промышленной безопасности. Тепловое сопротивление воздухопровода с изоляцией ($R_2$) увеличилось до 0,4 К/Вт, а разность температур на поверхностях стенки ($\Delta t$) повысилась до 250 $^oC$.

5 Рассчитайте коэффициент утилизации тепла теплового агрегата, если теплота уходящих дымовых газов на выходе из дымовой трубы ($Q_1$) составляет 10000 Вт. После установки теплоутилизационного теплообменника на дымовом тракте нагревательной печи это количество теплоты ($Q_2$) сократилось до 6000 Вт. Укажите, что можно сделать для повышения коэффициента утилизации тепла теплового агрегата?

6 Рассчитайте расход уходящих дымовых газов из нагревательной печи, потребляющей ($V_п$) 90 $м^3$/ч природного газа, если для сжигания 1 $м^3$ ($V_г$) газообразного топлива требуется 10 $м^3/м^3$ воздуха горения ($V_в$). Покажите, как изменится расход уходящих газов, если коэффициент расхода воздуха (n) увеличится до 1,1?

7 Рассчитайте объемный расход уходящих дымовых газов из котельного агрегата, потребляющего ($M_п$) 100 кг/ч каменного угля, если для сжигания 1 кг ($M_г$) твердого топлива требуется 6 кг/кг воздуха горения ($M_в$). Покажите, как изменится расход уходящих дымовых газов, если коэффициент расхода воздуха (n) увеличится до 1,3. В расчетах плотность продуктов горения (р) принять равной 1,2 $кг/м^3$?

8. В целях соблюдения требований правил промышленной безопасности над камерной нагревательной печью установлен вытяжной зонт для удаления выбивающихся при загрузке-разгрузке металла уходящих дымовых газов. Требуется рассчитать геометрические размеры вытяжного зонта. Расход выбивающихся дымовых газов ($V_г$) составляет 20 $м^3$/ч. Ширина печи (а) составляет 3 м. Скорость дымовых газов (v) в зонте принять равной 5 м/с. Покажите, как изменится расход уходящих дымовых газов в вытяжном зонте, если коэффициент подсоса холодного воздуха (n) для охлаждения дымовых газов организовать равным 1,5?

9. В целях соблюдения требований правил промышленной безопасности над камерной нагревательной печью установлен вытяжной зонт для удаления выбивающихся при загрузке-разгрузке дымовых газов. Расход выбивающихся дымовых газов ($V_г$) составляет 20 $м^3$/ч, температура уходящих газов ($t_г$) составляет 600 $^oC$. Покажите, как изменится температура уходящих дымовых газов в вытяжном зонте, если для охлаждения горячих дымовых газов организовать подсос

холодного воздуха с расходом ($V_в$), равным 20 м$^3$/ч и температурой ($t_в$) 20 $^o$С. В расчетах теплоемкости (С) уходящих дымовых газов и холодного воздуха принять равными 1,3 кДж/ (м$^3$К).

10. По условиям пожарной безопасности производственный объект относится к категории А, если суммарная площадь помещений категории А (повышенная взрывопожароопасность) превышает 5 % от площади всех производственных помещений. Определить, относится ли кузнечный цех предприятия площадью ($F_0$) 1200 м$^2$ к категории А, если площадь газовой печи ($F_1$), работающей на природном газе и снабженной рекуператором для утилизации тепла уходящих газов, составляет 150 м$^2$?

11. Рассчитать минимальное количество огнетушителей ОУ-5 на производственном объекте (газовая котельная площадью ($F_0$) 1000 м$^2$) категории А (повышенная взрывопожароопасность), если по нормативам на каждые 200 м$^2$ площади ($F_1$) необходимо размещать 4 огнетушителя.

12. Рассчитать минимальное количество огнетушителей ОУ-5, размещенных в кузнечном цехе площадью ($F_0$) 1200 м$^2$ и на газовой нагревательной печи площадью ($F_2$) 250 м$^2$, снабженной рекуператором для утилизации тепла уходящих газов, если по нормативам на каждые 200 м$^2$ площади ($F_1$) производственного объекта необходимо размещать 4 огнетушителя.