МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

УТВЕРЖДАЮ
Декан Факультета урбанистики и
городского хозяйства
_____ / Л.А. Марюшин/

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Автоматизированное проектирование теплоэнергетических систем»

Направление подготовки
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки
Энергообеспечение предприятий

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Заочная

Москва
2022

1. Цели освоения дисциплины

К **основным целям** освоения дисциплины «Автоматизированное проектирование теплоэнергетических систем» следует отнести:

– формирование знаний о современных принципах, методах и средствах проектирования и конструирования промышленных высокотемпературных установок, испытаний и контроля их теплотехнологических параметров;

– изучение способов повышения эффективности эксплуатации, проектирования и конструирования промышленных высокотемпературных установок, выработка навыков у студентов самостоятельно формулировать и решать задачи проектирования и конструирования высокотехнологичных энергетических установок.

– подготовка студентов к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра по направлению, в том числе формирование умений по выявлению необходимых усовершенствований и разработке новых, более эффективных методов проектирования и конструирования промышленных высокотемпературных установок.

К **основным задачам** освоения дисциплины «Автоматизированное проектирование теплоэнергетических систем» следует отнести:

– выработать навыки у студентов самостоятельно формулировать задачи контроля и технической диагностики промышленных высокотемпературных установок;

– научить мыслить системно на примерах повышения энергетической эффективности промышленных высокотемпературных установок с учетом технологических, экологических и экономических факторов;

– научить анализировать существующие методы контроля и технической диагностики промышленных высокотемпературных установок, разрабатывать и внедрять необходимые изменения в их конструкции с позиций повышения эффективности и энергосбережения;

– дать информацию о новых методах контроля и технической диагностики промышленных высокотемпературных установок в отечественной и зарубежной практике, развивать способности объективно оценивать преимущества и недостатки таких методов, как отечественных, так и зарубежных;

– научить анализировать результаты проектирования и расчета промышленных высокотемпературных установок, производить поиск оптимизационного решения с помощью всевозможных методов.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Автоматизированное проектирование теплоэнергетических систем» относится к числу профессиональных учебных дисциплин по выбору основной образовательной программы бакалавриата.

«Автоматизированное проектирование теплоэнергетических систем» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

В вариативной части цикла дисциплин:

– Тепловые и атомные электростанции;

– Котельные установки и парогенераторы.

В части цикла дисциплин по выбору:

– Теплоэнергетические системы промышленных предприятий;

– Энергетический комплекс промышленных предприятий;

– Эксплуатация теплоэнергетических установок и систем.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

Код компетенции	**В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать**	**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине**
ПК-2	Способность управлять процессами эксплуатации ОПД в соответствии с технологией производства	**знать:** • Приемку в эксплуатацию теплоэнергетических установок и сетей; • Техническое обслуживание и ремонт теплоэнергетических установок и сетей; **уметь:** • Обеспечивать оптимальные режимы эксплуатации отдельных элементов и систем теплоэнергетического оборудования; • Проводить приемку, наладку и эксплуатацию теплоэнергетического оборудования; **владеть:** • Методиками и организацией отдельных видов испытаний;
ПК-4	Способность к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению на ОПД	**знать:** • Оптимальные режимы эксплуатации и управление частями и установками;

		• Регламентные работы, виды ремонтов и периодичность ремонтных циклов и всех видов испытаний; **уметь:** • Разрабатывать нормы расхода энергоресурсов, рассчитывать потребности производства в энергоресурсах; • Проводить испытания и определение работоспособности установленного и ремонтируемого оборудования; **владеть:** • Навыками проведения энергоаудита на действующем оборудовании и составление планов по наладке отдельных установок и систем

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **4** зачетные единицы, т.е. **144** академических часа (из них 120 часов – самостоятельная работа студентов).

Восьмой семестр: лекции – 10 часов, семинарские занятия – 14 часов, форма контроля – экзамен.

Структура и содержание дисциплины «Автоматизированное проектирование теплоэнергетических систем» по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

Содержание разделов дисциплины

Восьмой **семестр**

Тема 1. **Введение.**

Предмет, задачи и содержание дисциплины. Роль высокотемпературных установок в повышении эффективности работы теплоэнергетического комплекса РФ. Основные термины и определения. Классификация промышленного высокотемпературного оборудования.

Высокотемпературные химические реакторы (печи и плазмохимические реакторы).

Тема 2. **Камерные и проходные печи**

Тепловой расчет электрических печей сопротивления. Определение установленной мощности. Расчет полезной мощности. Расчет тепловых потерь. Режимы работы печи. Режим нагрева. Разогрев теплотехнически «тонкой» загрузки. Время разогрева ЭПС. Разогрев теплотехнически «массивной» загрузки. Режим охлаждения загрузки. Режим изотермической выдержки. Рекомендации по выбору футеровочных материалов.

Тема 3. **Расчет и конструирование нагревательных элементов**

Рекомендации по выбору материала и конструированию нагревателей. Рекомендации по конструированию металлических нагревателей. Карборундовые электронагреватели (КЭН). Дисилицид молибдена (ДМ). Нагреватели из тугоплавких металлов. Определение допустимой удельной поверхностной мощности нагревателя. Расчет размеров нагревателей. Определение ориентировочного срока службы нагревателей. Порядок расчета нагревателей.

Тема 4. **Типовые конструкции камерных и проходных печей**

Камерные печи. Проходные печи. Топливосжигающие устройства.

Тема 5. **Особенности тепловой работы печей, основы их расчета**

Температура горения. Коэффициент использования тепла топлива. Расчет горения природного газа. Расчет горения мазута. Теплопередача в печах. Излучение. Теплопроводность. Выбор топливосжигающих устройств.

Тема 6. **Руднотермические печи**

Печи для производства карбида кальция. Печи для производства желтого фосфора. Печи для выплавки электрокорунда. Выбор рабочих токов, напряжений и геометрических размеров ванн руднотермических печей. Печи для производства карбида кремния. Печи графитации. О режимах работы руднотермических печей.

Тема 7. **Вращающиеся печи для производства строительных материалов**

Типовые конструкции вращающихся печей. Теплообменные устройства печей мокрого способа производства. Встроенные теплообменники. Теплообменники печей. Теплообменники и вращающиеся печи для огнеупоров сухого способа производства. Холодильники вращающихся печей. Планетарные и рекуператорные холодильники. Колосниковые холодильники. Холодильниики печей для производства огнеупоров. Печи кипящего слоя и циклонные печи. Принципы расчета при проектировании вращающихся печей. Материальный баланс. Тепловой баланс. Определение конструктивных параметров вращающихся печей мокрого способа производства. Методика расчета Е.И. Ходорова. Определение конструктивных параметров вращающейся печи с циклонными теплообменниками. Принципы расчета циклонных теплообменников и декарбонизаторов. Принципы расчета вращающихся печей для производства извести и керамзита.

Тема 8. **Общие принципы работы и классификация плазмохимических реакторов**

Струйные реакторы с электродуговыми плазмотронами. Струйные реакторы с ВЧ-плазмотронами. Объемные реакторы. Расчет исходных данных

для проектирования плазмохимического реактора.

5. Образовательные технологии

Методика преподавания дисциплины «Автоматизированное проектирование теплоэнергетических систем» и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

– подготовка к выполнению практических работ в аудиториях вуза и на мощностях предприятий-партнеров;

– защита и индивидуальное обсуждение выполняемых этапов расчетного задания;

– обсуждение и защита рефератов по дисциплине;

– подготовка, представление и обсуждение презентаций на семинарских занятиях;

– использование интерактивных форм текущего контроля в форме аудиторного и внеаудиторного интернет-тестирования;

– проведение мастер-классов экспертов и специалистов по методам контроля и технической диагностики теплоэнергетического оборудования, а также эффективных методов эксплуатации теплоэнергетического оборудования.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью образовательной программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины «Автоматизированное проектирование теплоэнергетических систем» и в целом по дисциплине составляет 50% аудиторных занятий. Занятия практического типа составляют 33% от объема аудиторных занятий.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы студентов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

- подготовка и выступление на семинарском занятии с презентацией и обсуждением на тему «Автоматизированное проектирование теплоэнергетических систем» (индивидуально для каждого обучающегося);

- тестирование.

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают контрольные вопросы и задания в форме бланкового и (или) компьютерного

тестирования, для контроля освоения обучающимися разделов дисциплины, защита отчетов по практическим заданиям.

Образцы тестовых заданий, заданий расчетных работ, контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля, приведены в приложении 2.

6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать
ПК-2	Способность управлять процессами эксплуатации ОПД в соответствии с технологией производства
ПК-4	Способность к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению на ОПД

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины (модуля), описание шкал оценивания

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

ПК-2- Способность управлять процессами эксплуатации ОПД в соответствии с технологией производства				
Показатель	**Критерии оценивания**			
	2	**3**	**4**	**5**
знать: приемку в эксплуатацию теплоэнергетических установок и сетей;	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний:	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний:	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: приемку

Техническое обслуживание и ремонт теплоэнергетических установок и сетей	следующих знаний: приемку в эксплуатацию теплоэнергетических установок и сетей; техническое обслуживание и ремонт теплоэнергетических установок и сетей	приемку в эксплуатацию теплоэнергетических установок и сетей; техническое обслуживание и ремонт теплоэнергетических установок и сетей. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	приемку в эксплуатацию теплоэнергетических установок и сетей; техническое обслуживание и ремонт теплоэнергетических установок и сетей , но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	в эксплуатацию теплоэнергетических установок и сетей; техническое обслуживание и ремонт теплоэнергетических установок и сетей , свободно оперирует приобретенным и знаниями.
уметь: обеспечивать оптимальные режимы эксплуатации отдельных элементов и систем теплоэнергетического оборудования; проводить приемку, наладку и эксплуатацию теплоэнергетического оборудования;	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет обеспечивать оптимальные режимы эксплуатации отдельных элементов и систем теплоэнергетического оборудования; проводить приемку, наладку и эксплуатацию теплоэнергетического оборудования	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: обеспечивать оптимальные режимы эксплуатации отдельных элементов и систем теплоэнергетического оборудования; проводить приемку, наладку и эксплуатацию теплоэнергетического оборудования. Допускаются	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: обеспечивать оптимальные режимы эксплуатации отдельных элементов и систем теплоэнергетического оборудования; проводить приемку, наладку и эксплуатацию теплоэнергетического оборудования. Умения	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: обеспечивать оптимальные режимы эксплуатации отдельных элементов и систем теплоэнергетического оборудования; проводить приемку, наладку и эксплуатацию теплоэнергетического оборудования. Свободно

		значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: методиками и организацией отдельных видов испытаний	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методиками и организацией отдельных видов испытаний	Обучающийся владеет методиками и организацией отдельных видов испытаний в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийся частично владеет методиками и организацией отдельных видов испытаний, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет методиками и организацией отдельных видов испытаний, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.
ПК-4 - Способность к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению на ОПД				
знать: оптимальные режимы эксплуатации и управление частями и установками;	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: оптимальные	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: оптимальные	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: оптимальные

регламентные работы, виды ремонтов и периодичность ремонтных циклов и всех видов испытаний	знаний: оптимальные режимы эксплуатации и управление частями и установками; регламентные работы, виды ремонтов и периодичность ремонтных циклов и всех видов испытаний	режимы эксплуатации и управление частями и установками; регламентные работы, виды ремонтов и периодичность ремонтных циклов и всех видов испытаний. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	режимы эксплуатации и управление частями и установками; регламентные работы, виды ремонтов и периодичность ремонтных циклов и всех видов испытаний, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	режимы эксплуатации и управление частями и установками; регламентные работы, виды ремонтов и периодичность ремонтных циклов и всех видов испытаний, свободно оперирует приобретенными знаниями.
уметь: разрабатывать нормы расхода энергоресурсов, рассчитывать потребности производства в энергоресурсах; проводить испытания и определение работоспособности установленного и ремонтируемого оборудования	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет разрабатывать нормы расхода энергоресурсов, рассчитывать потребности производства в энергоресурсах; проводить испытания и определение работоспособности установленного и ремонтируемого оборудования	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: разрабатывать нормы расхода энергоресурсов, рассчитывать потребности производства в энергоресурсах; проводить испытания и определение работоспособности установленного и ремонтируемого оборудования. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: разрабатывать нормы расхода энергоресурсов, рассчитывать потребности производства в энергоресурсах; проводить испытания и определение работоспособности установленного и ремонтируемого оборудования. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки,	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: разрабатывать нормы расхода энергоресурсов, рассчитывать потребности производства в энергоресурсах; проводить испытания и определение работоспособности установленного и ремонтируемо

		умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	го оборудования. Свободно оперирует приобретенным и умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: навыками проведения энергоаудита на действующем оборудовании и составление планов по наладке отдельных установок и систем	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет навыками проведения энергоаудита на действующем оборудовании и составление планов по наладке отдельных установок и систем	Обучающийся владеет навыками проведения энергоаудита на действующем оборудовании и составление планов по наладке отдельных установок и систем в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийся частично владеет навыками проведения энергоаудита на действующем оборудовании и составление планов по наладке отдельных установок и систем, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет навыками проведения энергоаудита на действующем оборудовании и составление планов по наладке отдельных установок и систем, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Автоматизированное проектирование теплоэнергетических систем» (прошли промежуточный контроль, выполнили весь объем заданий на семинарских занятиях, выступили с докладом на семинарском занятии)

Шкала оценивания	**Описание**
Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Хорошо	Студент показывает достаточный уровень теоретических и практических знаний, свободно оперирует категориальным аппаратом. Умеет анализировать практические ситуации, но допускает некоторые погрешности. Ответ построен логично, материал излагается грамотно.
Удовлетворительно	Студент показывает знание основного лекционного и практического материала. В ответе не всегда присутствует логика изложения. Студент испытывает затруднения при приведении практических примеров.
Неудовлетворительно	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

Фонды оценочных средств представлены в приложениях к рабочей программе.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Макаров, А.Н. Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2014. — 384 с.

2. Теплофизика, теплотехника, теплообмен. Тепломассоперенос. Топливо и огнеупоры. Тепловая работа печей. Лабораторный практикум [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.А. Арутюнов [и др.]. — Электрон. дан. — Москва: МИСИС, 2007. — 136 с.

3. Байрашевский Б.А. Основы рациональной утилизации теплоты с поверхностей промышленных печей. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика- 2011. №1

4. Основное оборудование АЭС [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Минск: "Вышэйшая школа", 2015. — 288 с.

5. Дзюзер В.Я. Теплотехника и тепловая работа печей: Учебное пособие [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 384 с.

б) дополнительная литература:

1. Филимонов, Ю.П. Теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей. Методические указания [Электронный ресурс] : метод. указ. / Ю.П. Филимонов, К.С. Шатохин, С.Н. Шибалов. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2006. — 27 с.

2. Якубенко И.А. Технологические процессы производства тепловой и электрической энергии на АЭС: учебное пособие для вузов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / И.А. Якубенко, М.Э. Пинчук. — Электрон. дан. — Москва: НИЯУ МИФИ, 2013. — 288 с.

3. Васильченко Ю.В. (ред.) Теплогенерирующие установки (часть 1). Учебное пособие. – Белгород, Изд-во БГТУ им. Шухова, 2008. — 162 с.

4. Васильченко Ю.В. (ред.) Теплогенерирующие установки (часть 2). Учебное пособие. – Белгород, Изд-во БГТУ им. Шухова, 2008. – 148 с.

5. Жихар Г.И. Котельные установки ТЭС: теплотехнические расчеты: учебное пособие [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Минск: "Вышэйшая школа", 2017. — 224 с.

6. Журавлев А.А. Расчеты материальных и энергетических балансов при выплавке стали в дуговых сталеплавильных печах: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / А.А. Журавлев, В.Ф. Мысик, А.В. Жданов. — Электрон. дан. — Екатеринбург: УрФУ, 2016. — 128 с.

7. Устройство и проектирование доменных печей: учебное пособие [Электронный ресурс] / Л.И. Каплун [и др.]. — Электрон. дан. — Екатеринбург: УрФУ, 2016. — 219 с.

в) программное обеспечение и интернет-ресурсы:

Программное обеспечение не предусмотрено.

Интернет-ресурсы включают учебно-методические материалы в электронном виде, представленные на сайте (http://lib.mami.ru/ebooks/ в разделе «Библиотека».

Полезные учебно-методические и информационные материалы представлены на сайтах:

http://window.edu.ru/catalog/resources?p_nr=50&p_rubr=2.2.75.27.7&p_page=3

http://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-laboratornoy-ustanovki-po-spetsialnosti-promyshlennaya-teploenergetika

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Специализированная учебная лаборатория кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Ауд. АВ2406, оснащенная лабораторными установками:

- «Определение коэффициента температуропроводности стали методом регулярного режима»;
- «Определение коэффициента теплопередачи при вынужденном течении жидкости в трубе (труба в трубе)»;
- «Определение коэффициента теплопередачи методом регулярного режима»;
- «Определение коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости на цилиндре»;
- «Определение коэффициента теплопроводности твердых тел методом цилиндрического слоя».

Мультимедийная аудитория кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Ауд. АВ2415, оснащенная оргтехникой и мультимедиа средствами (проектор, ПК и др.), экспериментальная котельная на базе ОАО ВТИ (на основании Договора о сотрудничестве) с системой КИП и автоматики.

9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов

1. Марюшин Л.А., Сенникова О.Б., Савельев И.Л. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов. Направление подготовки: 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», профиль «Теплоэнергетические установки, системы и комплексы». – М.: Изд-во Московского политеха, - 46 с.

10. Методические рекомендации для преподавателя

Преподавание дисциплины «Автоматизированное проектирование теплоэнергетических систем» имеет своей целью ознакомить студентов с достижениями в области прикладной теплоэнергетики, добиться уяснения ими основных методов проектирования и тепловых расчетов высокотемпературного оборудования, привить им практические навыки использования этих знаний к конкретным производственным ситуациям.

Преподавание дисциплины осуществляется в соответствии с ФГОС ВО.

Целью методических рекомендаций является повышение эффективности теоретических и практических занятий вследствие более четкой их организации преподавателем, создания целевых установок по каждой теме, систематизации материала по курсу, взаимосвязи тем курса, полного материального и методического обеспечения образовательного процесса.

Средства обеспечения освоения дисциплины

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие средства:

− рекомендуемую основную и дополнительную литературу;

− методические указания и пособия;

− контрольные задания для закрепления теоретического материала;

− электронные версии федеральных законов, учебников и методических указаний для выполнения практических работ и самостоятельной работы бакалавров.

Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Для максимального усвоения дисциплины рекомендуется изложение лекционного материала с элементами обсуждения.

В качестве методики проведения практических занятий можно предложить

1. Семинар – обсуждение существующих точек зрения на проблему и пути ее решения.

2. Тематические доклады, позволяющие вырабатывать навыки публичных выступлений.

Для максимального усвоения дисциплины рекомендуется проведение письменного опроса (тестирование) магистров по материалам лекций и практических работ. Подборка вопросов для тестирования осуществляется на основе изученного теоретического материала. Такой подход позволяет повысить мотивацию бакалавров при конспектировании лекционного материала.

Для освоения навыков поисковой и исследовательской деятельности бакалавр пишет контрольную работу или реферат по выбранной (свободной) теме.

Лекции проводятся в основном посредством метода устного изложения с элементами проблемного подхода и беседы.

Семинарские занятия могут иметь разные формы (работа с

исследовательской литературой, анализ данных нормативной и справочной литературы, слушание докладов и др.), выбираемые преподавателем в зависимости от интересов бакалавров и конкретной темы.

Самостоятельная работа бакалавра включает в себя элементы реферирования и конспектирования научно-исследовательской литературы, подготовки и написания научных текстов, отработку навыков устных публичных выступлений.

Проверка качества усвоения знаний в течение семестра осуществляется в устной форме, путем обсуждения проблем, выводимых на семинарах и письменной, путем выполнения бакалаврами разных по форме и содержанию работ и заданий, связанных с практическим освоением содержания дисциплины. Бакалавры демонстрируют в ходе проверки умение анализировать значимость и выявлять специфику различных проблем и тем в рамках изучаемой дисциплины и ее компонентов, знание научной и учебно-методической литературы. Текущая проверка знаний и умений бакалавров также осуществляется через проведение ряда промежуточных тестирований. Итоговая аттестация по дисциплине предполагает устный зачет или экзамен, на которых проверяется усвоение материала, усвоение базовых понятий дисциплины.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и профилю «Энергообеспечение предприятий».

Авторы

Доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
к.т.н., доцент В.С. Тимохин

Программа обсуждена на заседании кафедры «Промышленная теплоэнергетика». Протокол от 26 мая 2022 г. № 11.

Согласовано:

Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»
к.т.н., доцент Л.А. Марюшин

Руководитель ООП Е.А. Чугаев

Приложение 1

Структура и содержание дисциплины «Автоматизированное проектирование теплоэнергетических систем» по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

	Раздел	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах					Виды самостоятельной работы студентов					Формы аттестации	
			Л	П/С	Лаб	СРС	КСР	К.Р.	К.П.	РГР	Реф.	К/р	Э	З
	Восьмой семестр													
Тема 1	**Лекция. Введение**	8	1			20								
	Семинарское занятие			1										
Тема 2	**Лекция. Камерные и проходные печи**	8	2			20								
	Семинарское занятие			2										
Тема 3	**Лекция. Расчет и конструирование нагревательных элементов**	8	1			20								
	Семинарское занятие			2								+		
Тема 4	**Лекция. Типовые конструкции камерных и проходных печей**	8	1			15								
	Семинарское занятие													
	Выборочный приемочный и текущий контроль.			2										
Тема 5	**Лекция. Особенности тепловой работы печей, основы их расчета**	8	2			15					+			
	Семинарское занятие			2										
Тема 6	**Лекция. Руднотермические печи**	8	1			10								
	Семинарское занятие			2										
Тема 7	**Лекция. Вращающиеся печи для производства строительных материалов**	8	1			10					+			
	Семинарское занятие			2										
Тема 8	**Лекция. Общие принципы работы и классификация плазмохимических реакторов**	8	1			10								
	Семинарское занятие			1										
	Форма аттестации	8											Э	
	Всего часов по дисциплине в восьмом семестре		10	14		120								

Приложение 2

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Форма обучения: заочная

Кафедра: «Промышленная теплоэнергетика»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«Автоматизированное проектирование теплоэнергетических систем»

Москва
2022

Таблица 1
к приложению 2

Паспорт фонда оценочных средств

Эксплуатация теплоэнергетических установок и систем					
ФГОС ВО **13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**					
В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие **профессиональные компетенции**:					
КОМПЕТЕНЦИИ		**Перечень компонентов**	**Технология формирования компетенций**	**Форма оценочного средства**	**Степени уровней освоения компетенций**
ИНДЕКС	**ФОРМУЛИРОВКА**				
ПК-2	Способность управлять процессами эксплуатации ОПД в соответствии с технологией производства	**знать:** – приемку в эксплуатацию теплоэнергетических установок и сетей; – техническое обслуживание и ремонт теплоэнергетических установок и сетей; **уметь:** – обеспечивать оптимальные режимы эксплуатации отдельных элементов и систем теплоэнергетического оборудования; – проводить приемку, наладку и эксплуатацию теплоэнергетического оборудования; **владеть:** – методиками и организацией отдельных видов испытаний;	Лекции Практические занятия Собеседование СРС Решение задач	Вопросы к зачету Задачи Ответы студента на дополнительные вопросы Выполненный тест	Базовый уровень: способен участвовать в типовых, плановых испытаниях и ремонтах технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работах в стандартных производственных ситуациях Повышенный уровень: способен участвовать в типовых, плановых испытаниях и ремонтах технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работах в нестандартных производственных ситуациях с их последующим анализом

ПК-4	Способность к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению на ОПД	**знать:** – оптимальные режимы эксплуатации и управление частями и установками; – регламентные работы, виды ремонтов и периодичность ремонтных циклов и всех видов испытаний; **уметь:** – разрабатывать нормы расхода энергоресурсов, рассчитывать потребности производства в энергоресурсах; – проводить испытания и определение работоспособности установленного и ремонтируемого оборудования; **владеть:** – навыками проведения энергоаудита на действующем оборудовании и составление планов по наладке отдельных установок и систем	Лекции Практические занятия Собеседование СРС Решение задач	Вопросы к зачету Задачи Ответы студента на дополнительные вопросы Выполненный тест	Базовый уровень: способен участвовать в работах по оценке технического состояния и остаточного ресурса оборудования, в организации профилактических осмотров и текущего ремонта оборудования в стандартных производственных ситуациях Повышенный уровень: способен участвовать в работах по оценке технического состояния и остаточного ресурса оборудования, в организации профилактических осмотров и текущего ремонта оборудования в нестандартных производственных ситуациях с их последующим анализом

Приложение 3

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы в рамках учебной дисциплины

Перечень практических работ по дисциплине

1. Расчет энергетических параметров ВТУ.
2. Определение расходов топлива.
3. Расчет составляющих материального баланса.
4. Структура уравнений материальных балансов.
5. Расчет материальных балансов ВТП.
6. Расчет идеальных, неравновесных и равновесных процессов.
7. Расчет составляющих теплового баланса.
8. Тепловой баланс теплотехнологического реактора.
9. Зональные тепловые балансы.
10. Тепловые балансы отдельных элементов тепловой схемы ВТУ.
11. Тепловые и энергетические балансы ВТУ.
12. Расчет производительности ВТУ.
13. Расчет времени теплотехнологической обработки материалов в реакторе.
14. Длительность нагрева и плавления термически тонких тел.
15. Нагрев и плавление термомассивных тел при постоянной температуре плавления и температуре среды.

Приложение 4

Вопросы к экзамену

1. Камерные и проходные печи.
2. Тепловой расчет электрических печей сопротивления.
3. Определение установленной мощности ЭПС.
4. Расчет полезной мощност ЭПСи.
5. Расчет тепловых потерь ЭПС.
6. Режимы работы печи.
7. Разогрев теплотехнически «массивной» загрузки.
8. Разогрев теплотехнически «тонкой» загрузки.
9. Расчет и конструирование нагревательных элементов.
10. Рекомендации по конструированию металлических нагревателей.
11. Нагреватели из тугоплавких металлов для ЭПС.
12. Определение допустимой удельной поверхностной мощности нагревателя.
13. Порядок расчета нагревателей ЭПС.
14. Типовые конструкции камерных и проходных печей.
15. Камерные печи.
16. Проходные печи.
17. Топливосжигающие устройства.
18. Особенности тепловой работы печей, основы их расчета.
19. Температура горения.
20. Коэффициент использования тепла топлива.
21. Расчет горения природного газа.
22. Расчет горения мазута.
23. Теплопередача в печах. Конвекция.
24. Излучение. Передача тепла излучением в печах.
25. Теплопроводность. Передача тепла теплопроводностью в печах.
26. Выбор топливосжигающих устройств.
27. Руднотермические печи.
28. Печи для производства карбида кальция.
29. Печи для производства желтого фосфора.
30. Печи для выплавки электрокорунда.
31. Выбор рабочих токов, напряжений и геометрических размеров ванн руднотермических печей.
32. Печи для производства карбида кремния.
33. Печи графитации.
34. О режимах работы руднотермических печей.
35. Вращающиеся печи для производства строительных материалов.
36. Вращающиеся печи для производства цементного клинкера.
37. Типовые конструкции вращающихся печей.
38. Теплообменные устройства печей мокрого способа производства.
39. Встроенные теплообменники.

40. Теплообменники печей сухого способа производства.

41. Теплообменники и вращающиеся печи для огнеупоров.

42. Холодильники вращающихся печей. Планетарные и рекуператорные холодильники.

43. Холодильники вращающихся печей. Колосниковые холодильники.

44. Холодильниики печей для производства огнеупоров.

45. Печи кипящего слоя и циклонные печи.

46. Принципы расчета при проектировании вращающихся печей. Материальный баланс.

47. Принципы расчета при проектировании вращающихся печей. Тепловой баланс.

48. Определение конструктивных параметров вращающихся печей мокрого способа производства.

49. Определение конструктивных параметров вращающейся печи с циклонными теплообменниками.

50. Принципы расчета циклонных теплообменников и декарбонизаторов.

51. Принципы расчета вращающихся печей для производства извести и керамзита.

52. Общие принципы работы и классификация плазмохимических реакторов.

53. Струйные реакторы с электродуговыми плазмотронами.

54. Струйные реакторы с ВЧ-плазмотронами.

55. Объемные реакторы.

56. Расчет исходных данных для проектирования плазмохимического реактора.

57. Критерии энергетической эффективности ВТУ.

Приложение 5

Примеры задач для практических занятий

Задача 1. Расчет удельного сопротивления технологических зон печей производства технического кремния.

Для теоретической оценки удельного сопротивления технологических зон кремниевых печей принимаем следующую упрощенную схему строения реакционного пространства:

1. Зона твердофазных процессов (все компоненты шихты твердые, температура монотонно повышается по высоте зоны от 600 до 1873 К);
2. Зона плавления (начинается размягчение минеральной части шихты, заканчивающееся полным плавлением при 2073 К);
3. Зона гетерогенного расплава (плотноупакованный углеродистый слой, погруженный в вязкий расплав кремнезема. Температура по мере заглубления возрастает, достигая 2373 К на границе газовой полости);
4. Гарнисаж (уплотненная шихта исходного состава, покрытая коркой SiC);
5. Газовая полость (зона дуговых процессов);
6. Подовая настыль (вязкая шлакокарбидная пористая масса с полостями, заполненными металлическим кремнием).

Шихта составляется из четырех основных компонентов: кварцит, древесный уголь, нефтяной кокс, газовый уголь.

Вследствие протекания восстановительных реакций размер частиц восстановителя по мере опускания шихты монотонно уменьшается от начального до нуля, поэтому значение эффективного диаметра частиц углеродистых материалов принимаем равным половине среднего диаметра частиц, поступающих на колошник.

Температура реакционной среды кремниевой печи меняется в широких пределах (от 600 К на поверхности колошника до 2300 К на стенке газовой полости в торце электрода).

Расчет УЭС шихты кремниевой печи (зона твердофазных процессов).

Исходные данные:

- температура $T = 1473$ К;

Эффективные диаметры частиц компонентов шихты:

- кварцит $d_1 = 0{,}027$ м;
- древесный уголь $d_2 = 0{,}013$ м;
- нефтяной кокс $d_3 = 0{,}004$ м;
- газовый уголь $d_4 = 0{,}008$ м.

Значения коэффициентов A, B, C для кварцита и газового угля считаем равными соответствующим коэффициентам для кокса.

Решение:

Параметр	Формулы	Результат
Удельная проводимость, Ом · м$^{-1}$:		
засыпки кварцита, c_1	$\chi_1 = \frac{\chi_1^K}{A + \frac{d_1}{B + Cd_1^2}} = \frac{\frac{1}{(6 \cdot 10^2)}}{136 + \frac{0,027}{2 \cdot 10^{-6} + 20 \cdot 0,027^2}}$	$1,21 \cdot 10^{-5}$
засыпки древесного угля, c_2	$\chi_2 = \frac{\chi_2^K}{A + \frac{d_2}{B + Cd_2^2}} = \frac{\frac{1}{(4 \cdot 10^{-4})}}{29 + \frac{0,013}{2 \cdot 10^{-5} + 17 \cdot 0,013^2}}$	74,6
засыпки нефтяного кокса, c_3	$\chi_3 = \frac{\chi_3^K}{A + \frac{d_3}{B + Cd_3^2}} = \frac{\frac{1}{(1,25 \cdot 10^{-4})}}{136 + \frac{0,004}{2 \cdot 10^{-6} + 20 \cdot 0,004^2}}$	53,9
засыпки газового угля, c_4	$\chi_4 = \frac{\chi_4^K}{A + \frac{d_4}{B + Cd_4^2}} = \frac{\frac{1}{(1,25 \cdot 10^{-4})}}{136 + \frac{0,008}{2 \cdot 10^{-6} + 20 \cdot 0,008^2}}$	56,2
смеси, c_S	$\sum_{i=1}^{4} \frac{\chi_i - \chi_\Sigma}{\chi_i + 2\chi_\Sigma} \varphi_i = 0$ (решение методом итераций)	50
Удельное электрическое сопротивление шихты, ρ, Ом · м	$\rho_\Sigma = \frac{1}{\chi_\Sigma} = \frac{1}{50}$	0,02

Задача 2. Материальный баланс процесса полного горения газообразного топлива (по формулам из Нормативного метода).

1. Исходные данные:

Процентный состав газового топлива, %:

$CH_4 = 84.5$

$N_2 = 7.8$

$H_2O = 0.0$

$C_2H_6 = 3.8$

$CO_2 = 0.8$

$H_2S = 0.0$

$C_3H_8 = 1.9$

$O_2 = 0.0$

$C_4H_{10} = 0.9$

$CO = 0.0$

$C_5H_{12} = 0.3$

$H_2 = 0.0$

Коэффициент расхода окислителя:

$\alpha = 1.05$

1.3. Объемная доля кислорода в окислителе:

$K_{O2} = 0.21$

Влагосодержание топлива, г/(м^3 сухого топлива):

$D_т = 10$

Влагосодержание окислителя, г/(м^3 сухого окислителя):

$D_{ок} = 10$.

2. Расчет характеристик материального баланса процесса горения

Теоретический расход кислорода, вносимого сухим окислителем, м^3/(м^3 топлива):

$$help := \frac{2CH4_т + 3.5C2H6_т + 5C3H8_т + 6.5C4H10_т + 7C5H12_т}{100} = 1.998$$

$$V_кисл := help + \frac{0.5CO_т + 0.5H2_т + 1.5H2S_т - O2_т}{100} = 1.998$$

Теоретический и действительный расход сухого окислителя, м^3/(м^3 топлива):

$$Vок_0 := \frac{V_кисл}{KO2} = 9.512$$

$$Vок := \alpha \cdot Vок_0 = 9.988$$

Удельные выходы компонентов продуктов горения, м^3/(м^3 топлива)

Удельный выход сухих трехатомных газов:

$$help := \frac{CH4_т + 2C2H6_т + 3C3H8_т + 4C4H10_т + 5C5H12_т}{100} = 1.029$$

$$VRO2_pg := help + \frac{CO2_т + CO_т + H2S_т}{100} = 1.037$$

Удельный выход водяных паров:

$$help := \frac{2CH4_т + 3C2H6_т + 4C3H8_т + 5C4H10_т + 6C5H12_т}{100} = 1.943$$

$$VH2O_pg := help + \frac{H2_т + H2S_т}{100} + 0.00124(D_т + D_ок \cdot Vок) = 2.079$$

Удельный выход азота:

$$VN2_pg := 0.01N2_т + (1 - KO2) \cdot Vок = 7.968$$

Удельный выход кислорода:

$$VO2_pg := (\alpha - 1) \cdot KO2 \cdot Vок_0 = 0.1$$

Суммарный удельный выход продуктов горения, м^3/(м^3 топлива):

$$Vsum_pg := VRO2_pg + VH2O_pg + VN2_pg + VO2_pg = 11.184$$

Процентный состав продуктов горения, %:

$$RO2 := 100 \cdot \frac{VRO2_pg}{Vsum_pg} = 9.272$$

$$N2 := 100 \cdot \frac{VN2_pg}{Vsum_pg} = 71.244$$

$$H2O := 100 \cdot \frac{VH2O_pg}{Vsum_pg} = 18.591$$

$$O2 := 100 \cdot \frac{VO2_pg}{Vsum_pg} = 0.893$$

Задача 3. Определить какая доля теплоты сгорания коксового газа $Q^p_н$= 17,6 мДж/м^3 осталась неиспользованной в рабочем пространстве топки при наличии в сухих продуктах сгорания CO в количестве 3% ($V^{сг}$=3,9 м^3).

Задача 4. Рассчитать тепловые потери печи. Зазор между деталью и тепловой изоляцией рекомендуется принимать 110÷140 мм. Тепловая изоляция из двух слоев: 1 слой - шамотовый кирпич, толщина, $\delta_ш$ = 65 мм; 2 слой - вермикулитовая засыпка, толщина, $\delta_в$ = 250 мм.

Рассчитать мощность, необходимую для нагрева, КПД нагрева холодной и горячей печи, температуру наружной стенки, температуру между слоями изоляции.

$n_д$	d, мм	материал	$t_{внутр}$, °C	$t_{нар}$, °C	l, мм
12	65	алюминий	460	20	350

Плотность алюминия γ = 2700 кг/м^3.
Теплоемкость алюминия C = 0,872 кДж/кг·°C.
Расчет:
Определяем массу стержней:

$$m_д = n_д \cdot \gamma \frac{\pi \cdot d^2}{4} l = 12 \cdot 2700 \frac{3{,}14 \cdot 0{,}065^2}{4} 0{,}35 = 127{,}17\, кг$$

где: $n_д$ - число стержней;
γ - плотность материала стержней;
d - диаметр стержня;
l - длина стержня.
Энергия для нагрева:

$$Q = C \cdot m_д (t_{вн} - t_н) = 872 \cdot 127{,}17(460 - 20) = 48792585{,}6\, Дж$$

где: C - удельная теплоемкость материала стержней
Полезная мощность:

$$P_{пол} = \frac{Q}{\tau \cdot 3600} = \frac{48792585{,}6}{2 \cdot 3600} = 6776{,}7\, Вт$$

где: τ - время нагрева, принимаем равным 2 часам.
Выполняем эскиз закалочной печи с нанесением размеров

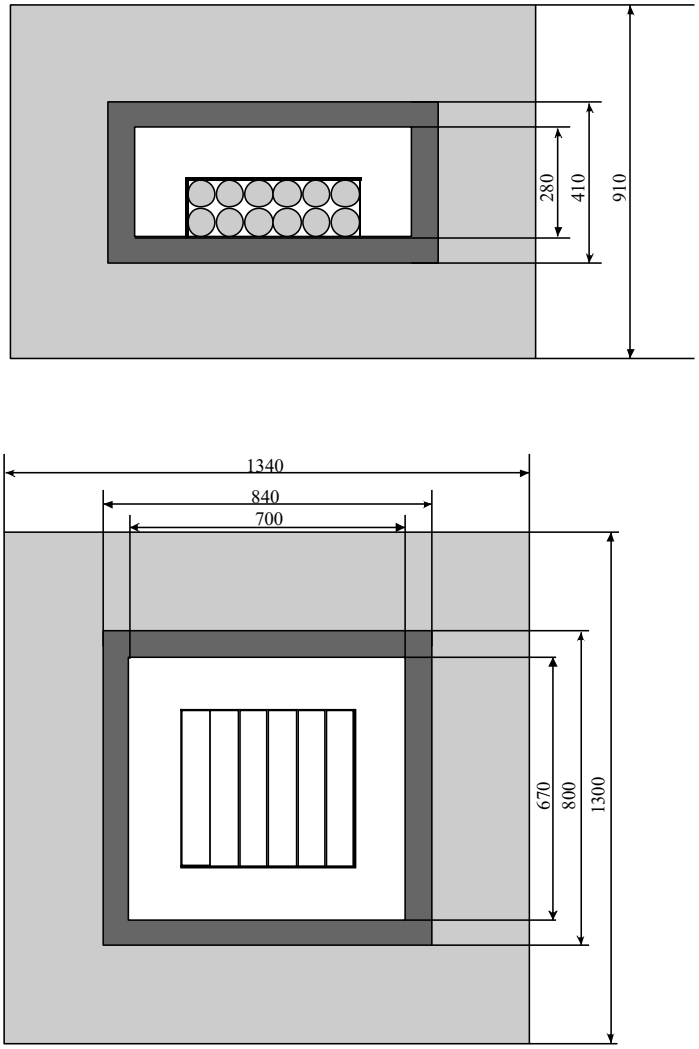


Рис. 1. Эскиз печи

Определяем внутреннюю поверхность печи F_1:
$(A \cdot B \cdot 2) + (B \cdot C \cdot 2) + (C \cdot A \cdot 2) = F_1$, м^2
A=630 мм; B=670 мм; C=270 мм.
$(630 \cdot 670 \cdot 2) + (670 \cdot 270 \cdot 2) + (270 \cdot 630 \cdot 2) = 1{,}537$ м^2,
$F_1 = 1{,}537$ м^2
Определяем наружную поверхность шамота F_2:
$(760 \cdot 800 \cdot 2) + (800 \cdot 400 \cdot 2) + (400 \cdot 760 \cdot 2) = 2{,}464$ м^2,
$F_2 = 2{,}464$ м^2
Определяем наружную поверхность печи F_3:
$(1260 \cdot 1300 \cdot 2) + (1300 \cdot 900 \cdot 2) + (900 \cdot 1260 \cdot 2) = 7{,}884$ м^2,
$F_3 = 7{,}884$ м^2
Определяем среднюю поверхность шамотной кладки:
$$F_ш = \sqrt{F_1 \cdot F_2} = \sqrt{1{,}537 \cdot 2{,}464} = 1{,}946\,м^2$$
Определяем среднюю поверхность теплоизоляционной засыпки:
$$F_в = \sqrt{F_2 \cdot F_3} = \sqrt{2{,}464 \cdot 7{,}884} = 4{,}407\,м^2$$
Определяем массу шамотовой кладки:
$$m_ш = \gamma_ш \cdot F_ш \cdot \delta_ш = 2580 \cdot 1{,}946 \cdot 0{,}065 = 326\,кг$$
где: $\gamma_ш = 2{,}58$ т/м^3

Определяем массу теплоизоляционной засыпки:

$$m_в = \gamma_в \cdot F_в \cdot \delta_в = 250 \cdot 4{,}407 \cdot 0{,}25 = 275\,кг$$

где: $\gamma_в = 0{,}25$ т/м^3.

Масса жаропрочного контейнера:

$$m_к = 0{,}25 \cdot m_д = 0{,}25 \cdot 127{,}17 = 31{,}8\,кг$$

Тепловые потери печи:

$$P_{пот} = \frac{t_{вн} - t_н}{\frac{1}{\alpha_{нар} \cdot F_3} + \frac{\delta_в}{\lambda_в \cdot F_в} + \frac{\delta_ш}{\lambda_ш \cdot F_ш} + \frac{1}{\alpha_{вн} \cdot F_1}}$$

$\frac{1}{\alpha_{вн} \cdot F_1}$ - принимаем равным 0.

$\alpha_{нар} = 12$ Вт/м^2·°С, $\lambda_в = 0{,}15$ Вт/м·°С, $\lambda_ш = 1{,}25$ Вт/м·°С.

$$P_{пот} = \frac{460 - 20}{\frac{1}{12 \cdot 7{,}884} + \frac{0{,}25}{0{,}15 \cdot 4{,}407} + \frac{0{,}065}{1{,}25 \cdot 1{,}946}} = 1055\,Вт$$

Мощность, необходимая для нагрева детали в стационарном режиме:

$$P = P_{пол} + P_{пот} = 6776{,}7 + 1055 = 7831{,}7\,Вт = 7{,}8317\,кВт$$

Температура между слоями:

$$t_{сл} = t_{вн} - P_{пот} \frac{\delta_ш}{\lambda_ш \cdot F_ш} = 460 - 1055 \frac{0{,}065}{1{,}25 \cdot 1{,}946} = 431{,}5\,^\circ C$$

Температура наружной стенки:

$$t_{ст} = t_{нар} + \frac{P_{пот}}{\alpha_{нар} \cdot F_3} = 20 + \frac{1055}{12 \cdot 7{,}884} = 31{,}1\,^\circ C$$

Средняя температура шамотовой кладки:

$$t_ш = \frac{t_{вн} + t_{сл}}{2} = \frac{460 + 431{,}5}{2} = 445{,}7\,^\circ C$$

Средняя температура теплоизоляционной засыпки:

$$t_в = \frac{t_{сл} + t_{ст}}{2} = \frac{431{,}5 + 31{,}1}{2} = 231{,}3$$

Количество тепла, необходимое для нагрева шамотовой кладки:

$$Q_ш = C_ш \cdot m_ш (t_{вн} - t_{нар}) = 980 \cdot 326(445{,}7 - 20) = 131466020\,Дж,$$

$C_ш = 0{,}98$ кДж/кг·°С

Количество тепла, необходимое для нагрева вермикулитовой засыпки:

$$Q_в = C_в \cdot m_в (t_{вн} - t_{нар}) = 630 \cdot 275(460 - 20) = 72765000\,Дж,$$

$C_в = 0{,}63$ кДж/кг·°С

Количество тепла для нагрева жаропрочных изделий:

$$Q_{изд} = C_{изд} \cdot m_д (t_{вн} - t_{нар}) = 460 \cdot 127{,}17(460 - 20) = 25739208\,Дж$$

Суммарное количество тепла для нагрева конструкции печи:

$$\sum Q_к = Q_ш + Q_в + Q_{изд} = 131466020 + 72765000 + 25739208 = 229970228\ Дж$$

Действительная продолжительность нагрева печи:

$$\tau_1 = \frac{\sum Q_к}{3600\left(P - \frac{P_{пот}}{2}\right)} = \frac{229970228}{3600\left(7831{,}7 - \frac{1055}{2}\right)} = 8{,}7 \text{ часа}$$

КПД горячей печи:

$$\eta_п = \frac{P_{пол}}{P_{пол} + P_{пот}} = 0{,}866$$

КПД холодной печи:

$$\eta_х = \frac{\sum Q_к}{\sum Q_к + Q_{из} + P_{пот} \cdot \tau_1} = 0{,}53$$

где:

$Q_{из} = Q_ш + Q_в = 131466020 + 72765000 = 204231020$ Дж;

$\tau_1 = 8{,}7$ часа.

Приложение 6

Вопросы для самостоятельного изучения

1. Аэромеханические условия в ВТУ.
2. Использование аналитических решений краевых задач теплопроводности для определения продолжительности тепловой обработки термически массивных тел.
3. Конструктивная схема ВТП. Тепловые и конструктивные схемы нагревательных, обжиговых, плавильных установок. Их технико-экономические показатели.
4. Тепловой баланс ВТУ. Структура теплового баланса рабочей камеры. Определение слагаемых теплового баланса рабочей камеры.
5. Удельные расходы топлива ВТУ. Энергетический баланс ВТУ и энергозатраты на процессы. Материальный баланс высокотемпературного процесса.

Приложение 7

Примеры тестовых заданий

1) Основная функция печи:
1. обеспечить сырью требуемую прочность;
2. обеспечить сырью требуемую влажность;
3. обеспечить сырью требуемую плотность;
4. обеспечить сырью требуемую температуру.+

2) Граница между низкотемпературными и высокотемпературными процессами лежит в интервале:
1. 550–750 °С;
2. 500–700 °С; +
3. 600–700 °С;
4. 500–800 °С.

3) Прямой нагрев это:
1. Выделение тепла в самом нагреваемом материале; +
2. Выделение тепла в нагревательном элементе;
3. Выделение тепла на поверхности нагреваемого материала;
4. Выделение тепла самим материалом.

4) Косвенный нагрев это:
1. Нет правильных ответов;
2. Выделение тепла вне материала с последующим остыванием;
3. Выделение тепла вне материала с последующей теплопередачей; +
4. Выделение тепла вне материала с последующей теплоотдачей.

5) Для ЭПС непрерывного действия выбирают:
1. Все ответы верные;
2. число тепловых зон и мощность каждой зоны печи; +
3. число тепловых зон и мощность нагревателей печи;
4. число тепловых зон и мощность энергопотребления печи.

6) Знание удельного расхода электроэнергии позволяет оценить:
1. энергетическую эффективность процесса; +
2. нет правильных ответов;
3. энергетическую эффективность системы;
4. энергетический КПД установки.

7) Тепловой КПД характеризует:
1. Нет правильных ответов;
2. работу печи как источника энергии; +
3. работу печи как источника потерь;
4. работу печи как потребителя энергии.

8) Коэффициент запаса мощности для ЭПС непрерывного действия:
1. $k_з = 1{,}1 \div 1{,}2$; +
2. $k_з = 1{,}01 \div 1{,}26$;
3. Нет правильных ответов;
4. $k_з = 1{,}15 \div 1{,}27$.

9) Коэффициент запаса мощности для ЭПС периодического действия:

1. $k_з = 1,0 \div 1,4$;

2. Нет правильных ответов;

3. $k_з = 1,2 \div 1,6$;

4. $k_з = 1,2 \div 1,4$. +

10) Теплоту, необходимую для нагрева загрузки и вспомогательных приспособлений, следует называть:

1. Все ответы верные;

2. относительной;

3. общей;

4. полезной. +

11) Коэффициент запаса на неучтенные потери мощности принимают равным:

1. Нет правильных ответов;

2. 1,2÷1,5;

3. 1,2÷1,4; +

4. 1,3÷1,4.

12) Расчет футеровок проводят:

1. методом Гаусса;

2. методом последовательных приближений; +

3. Все ответы верные;

4. методом прямоугольника.

13) Потери тепла через отверстие нагретой до 800–900 ^{0}С печи за счет конвекции можно определить:

1. по уравнению Доброхотова; +

2. по уравнению Добронравова;

3. Нет правильных ответов;

4. по уравнению Эйлера.

14) Коэффициент теплового излучения для крупных отверстий и проемов (соизмеримых с размером печного пространства) берут равным:

1. 0,9;

2. 0,5;

3. 0,3;

4. 0,8. +

15) Коэффициент теплового излучения для мелких отверстий принимают:

1. $\varepsilon_{отв} = 1,01$;

2. $\varepsilon_{отв} = 1,77$;

3. $\varepsilon_{отв} = 1,0$; +

4. $\varepsilon_{отв} = 1,09$.

16) Коэффициент диафрагмирования учитывает:

1. Все ответы верные;

2. глубину отверстия и экранирующее действие его стенок; +

3. только глубину отверстия;

4 экранирующее действие стенок отверстия.

17) Строго теплотехнически «массивными» считают загрузки, для

которых:

1. число Био больше 0,58;
2. число Био больше 0,70;
3. число Био больше 0,50; +
4. число Био меньше 0,50.

18) При температуре выше 700 ^{0}C процесс охлаждения происходит:

1. за счет рассеяния излучения;
2. нет правильных ответов;
3. за счет излучения; +
4. за счет излучения и конвекции;

19) Время изотермической выдержки $t_{выд}$ обычно задано:

1. Все ответы верные;
2. физическими параметрами технологического процесса;
3. условиями процесса охлаждения;
4. условиями технологического процесса. +

20) Шамотные материалы применяются:

1. в воздушной (слабокислой) атмосфере и некоторых защитных углеродсодержащих атмосферах; +
2. Нет правильных ответов;
3. в воздушной (слабокислой) атмосфере;
4. в некоторых защитных углеродсодержащих атмосферах.

21) Динасовые материалы в парах щелочей разрушаются при температуре:

1. 1000 К;
2. 1000 ^{0}C; +
3. 2000 ^{0}C;
4. 1200 ^{0}C.

22) Магнезитовые и доломитовые материалы поглощают пары воды при температуре:

1. Нет правильных ответов;
2. ниже 650 ^{0}C;
3. ниже 600 К;
4. ниже 600 ^{0}C. +

23) Хромомагнезитовые и магнезитохромитовые материалы подвергаются восстановлению в восстановительных газовых средах при температуре:

1. Нет правильных ответов;
2. более 1200 ^{0}C;
3. более 1600 ^{0}C; +
4. менее 1600 ^{0}C.

24) Хромомагнезитовые и магнезитохромитовые материалы подвергаются окислению при температуре:

1. ниже 1600 ^{0}C; +
2. ниже 1500 ^{0}C;
3. ниже 1400 ^{0}C;

4. ниже 1800 ^{0}C.

25) Из-за чередования процессов окисления и восстановления происходит:

1. расслаивание футеровки;
2. упрочение футеровки;
3. растрескивание обмуровки;
4. растрескивание футеровки. +

26) Карбидокремниевые материалы окисляются:

1. кислородом воздуха;
2. Нет правильных ответов;
3. кислородом воздуха и парами воды; +
4. парами воды.

27) Карбидокремниевые материалы разрушаются:

1. окислителями;
2. восстановителями; +
3. щелочами;
4. гидроксидами.

28) Графитовые футеровки окисляются:

1. кислородом воздуха и парами воды; +
2. только парами воды;
3. Нет правильных ответов;
4. кислородом воздуха или парами воды.

29) При температуре 950 ^{0}C при работе в атмосфере хлора в течение 72 ч уменьшается прочность:

1. высококремнистых материалов на 6 %;
2. высококремнистых материалов на 12 %;
3. высококремнистых материалов на 10 %;
4. высококремнистых материалов на 5 %. +

30) При температуре 950 ^{0}C при работе в атмосфере хлора в течение 72 ч уменьшается прочность:

1. динасовых материалов – на 17 %;
2. Нет правильных ответов;
3. динасовых материалов – на 13 %; +
4. динасовых материалов – на 23 %.

31) При температуре 950 ^{0}C при работе в атмосфере хлора в течение 72 ч уменьшается прочность:

1. шамотных материалов – на 24 %; +
2. шамотных материалов – на 1,3 %;
3. шамотных материалов – на 34 %;
4. шамотных материалов – на 14 %.

32) При температуре 950 ^{0}C при работе в атмосфере хлора в течение 72 ч уменьшается прочность:

1. магнезиальных и хромомагнезиальных материалов– на 80 %;
2. магнезиальных материалов– на 100 %;
3. Нет правильных ответов;

4. магнезиальных и хромомагнезиальных материалов– на 100 %. +

33) За рекомендуемую температуру работы нагревателя принимают ту температуру, при которой срок его службы составит:

1. 40 000 ч;
2. 7 000 ч;
3. 10 000 ч; +
4. 9 000 ч.

34) Максимально допустимой температурой считают температуру, при которой срок службы нагревателя равен:

1. Нет правильных ответов;
2. 1000 ч;
3. 3200 ч;
4. 2000 ч. +

35) При использовании нагревателей диаметром более 6 мм максимально допустимая температура может быть увеличена:

1. на 60 градусов;
2. на 55 градусов;
3. на 50 градусов; +
4. на 70 градусов.

36) При уменьшении диаметра нагревателя до 1 мм максимально допустимая температура снижается:

1. на 50 градусов; +
2. на 50 %;
3. на 60 градусов;
4. в 1,5 раза.

37) Если диаметр нагревателя 0,2–0,4 мм, то максимально допустимую температуру следует принять:

1. на 100÷200 градусов ниже табличной; +
2. Нет правильных ответов;
3. на 100÷200 градусов ниже расчетной;
4. на 100÷150 градусов ниже табличной.

38) Предельная температура использования нагревателя зависит от:

1. параметров окружающей среды;
2. атмосферы, в которой он работает; +
3. атмосферы, в которой он произведен;
4. мощности, при которой он работает.

39) Нихром имеет высокую жаростойкость:

1. до 1250 ^{0}C; +
2. до 1250 К;
3. до 2250 ^{0}C;
4. до 1270 ^{0}C.