Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Наливайко Антон Юрьевич
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 01.11.2023 17:37:26
Уникальный программный ключ:
1a3df673e07fcd54440aceed8bb7e29f4817bf0a

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета урбанистики
и городского хозяйства
_____ /Л.А. Марюшин/
« 30 » августа 2021г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Методы интенсификации теплообмена в энергетических установках»

Направление подготовки
13.06.01 Электро- и теплотехника

Профиль подготовки
Промышленная теплоэнергетика

Программа аспирантуры

Форма обучения
Очная

Москва 2021

1. Цели освоения дисциплины

К **основным целям** освоения дисциплины «Методы интенсификации теплообмена в энергетических установках» следует отнести формирование у студентов научных представлений о современных методах интенсификации теплообмена в конвективных поверхностях нагрева, обеспечивающих квалифицированное участие будущих магистров в научно-исследовательской деятельности.

К **основным задачам** освоения дисциплины «Методы интенсификации теплообмена в энергетических установках» следует отнести:

– изучение теоретических основ интенсификации теплообмена в каналах различной конфигурации;

– ознакомление с основными методами интенсификации теплообмена;

– приобретение навыков экспериментальных исследований интенсифицированного конвективного теплообмена в каналах с различной формой поверхности нагрева;

– ознакомление с современными конструкциями теплообменных аппаратов с интенсифицированными поверхностями нагрева;

– овладение современными методами расчета и выбора теплообменных аппаратов с высокой теплоэнергетической эффективностью.

2. Место дисциплины в структуре ООП аспирантуры

Дисциплина «Методы интенсификации теплообмена в энергетических установках» относится к числу учебных дисциплин Блока 1 вариативной части основной образовательной программы аспирантуры (Б1.1.2.4).

«Методы интенсификации теплообмена в энергетических установках» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами ООП:

В базовой части (Б1.1.1):

– Электро- и теплоэнергетические системы и комплексы;

В вариативной части (Б1.1.2):

– Промышленная теплоэнергетика.

В блоке дисциплин по выбору (Б1.1.3):

– Источники энергии и генерация теплоты в энергоустановках;

– Моделирование процессов и аппаратов промышленной теплоэнергетики.

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
ОПК-3	способностью к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности	**знать:** • основные способы разработки новых методов исследования и их применения в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности **уметь:** • разрабатывать новые методы исследования и применять их в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности **владеть:** • методологией разработки новых методов исследования и их применения в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности
ПК-3	способность использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	**знать:** • методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники **уметь:** • использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники **владеть:** • методами научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины «Методы интенсификации теплообмена в энергетических установках» составляет **3** зачетных единицы, т.е. **108** академических часа (из них 8 часов – лекции, 12 часов – семинарские занятия, 88 час – самостоятельная работа аспирантов). Форма контроля - зачет.

Структура и содержание дисциплины «Методы интенсификации теплообмена в энергетических установках» по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

Содержание разделов дисциплины
Четвертый семестр

Тема 1. Введение.

Цели и задачи изучения дисциплины. Основные термины, определения и понятия. Цель интенсификации конвективного теплообмена. История создания и эволюция интенсифицированных конвективных поверхностей нагрева. Достоинства и недостатки некоторых конструкций теплообменных аппаратов с интенсификацией теплоотдачи.

Тема 2. Выбор метода интенсификации теплообмена

Условия, определяющие выбор метода. Отрывная зона как средство целенаправленной дополнительной турбулизации потока. Анализ различных методов интенсификации теплообмена. Выбор рационального метода интенсификации теплообмена в прямых каналах и при продольном обтекании пучков труб.

Тема 3. Интенсификация теплообмена в продольно обтекаемых пучках труб и кольцевых каналах

Гидравлическое сопротивление и теплообмен в продольно обтекаемых пучках гладких труб. Гидравлическое сопротивление и теплообмен в кольцевых каналах. Интенсификация теплообмена в продольно омываемых пучках труб с помощью поперечных кольцевых канавок. Интенсификация теплообмена в кольцевых каналах с канавками на внутренней трубе. Интенсификация теплообмена в кольцевых каналах с помощью поперечного оребрения. Интенсификация теплообмена в продольно омываемых пучках труб с помощью с помощью поперечных ребер. Интенсификация теплообмена в кольцевых каналах при односторонних комбинированных турбулизаторах типа «выступ-канавка».

Тема 4. Интенсификация теплообмена в плоских и треугольных каналах

Гидравлическое сопротивление и теплообмен в плоских каналах с гладкими стенками. Интенсификация теплообмена в плоских каналах с помощью поперечного оребрения. Интенсификация теплообмена в каналах треугольного поперечного сечения.

Тема 5. Интенсификация теплообмена при кипении в каналах

Методы интенсификации теплообмена при кипении. Теплообмен в дисперсном режиме пленочного кипения в окрестности отрывных зон. Интенсификация теплообмена в дисперсном режиме пленочного кипения. Интенсификация теплообмена в стержневом режиме пленочного кипения. Интенсификация теплообмена при поверхностном кипении воды в трубах. Интенсификация теплообмена при поверхностном кипении органических веществ в трубах.

Тема 6. Интенсификация теплообмена при конденсации в каналах

Методы интенсификации теплообмена при конденсации. Интенсификация теплообмена при конденсации водяного пара на горизонтальных трубах с кольцевыми канавками. Интенсификация теплообмена при конденсации пара на наружной поверхности вертикальных труб с кольцевыми канавками. Интенсификация теплообмена в трубах при частичной конденсации.

Тема 7. Интенсификация теплообмена при солеот-ложениях на поверхностях труб

Основные способы борьбы с солеотложениями в теплообменных аппаратах. Модель процесса солеотложения при обтекании охлаждающей водой труб с кольцевыми турбулизаторами. Особенности солеотложений и теплопередачи на наружной и внутренней поверхностях труб с кольцевыми турбулизаторами.

Тема 8. Теплообменники с высокой теплоэнергетической эффективностью

Требования к теплообменникам. Способы интенсификации теплообмена. Выбор рационального способа интенсификации процесса теплообмена. Методы оценок интенсификации конвективного теплообмена.

Тема 9. Экспериментальные исследования интенсифицированного конвективного теплообмена в каналах с различной формой поверхности нагрева

Способ исследования теплоотдачи с непосредственным измерением температуры теплопередающей стенки. Способ исследования теплоотдачи с расчетным определением температуры теплопередающей стенки. Гидравлические сопротивления и энергоемкость процесса конвективной теплоотдачи.

Тема 10. Современные пластинчатые теплообменные аппараты

Основные виды пластинчатых теплообменников и их устройство. Основные виды теплопередающих пластин и их классификация. Вспомогательные узлы пластинчатых теплообменников. Схемы пластинчатых теплообменников и движение рабочих сред в каналах.

Тема 11. Оребрённые поверхности нагрева паровых котлов

Конструкции, область применения и технико-экономические аспекты. Технология изготовления оребрённых конвективных и ширмовых поверхностей нагрева. Влияние реальных условий эксплуатации на тепловые и аэродинамические характеристики и температурный режим. Золовой износ и золовой занос оребрённых конвективных поверхностей нагрева.

Тема 12. Методы расчета и выбора интенсифицированных конвективных поверхностей нагрева паровых котлов

Расчет оптимальных скоростей движения рабочих сред, гидравлических, аэродинамических сопротивлений и энергозатрат. Тепловой расчет интенсифицированных конвективных поверхностей нагрева в условиях сжигания различных видов топлива.

5. Образовательные технологии

Методика преподавания дисциплины «Методы интенсификации теплообмена в энергетических установках» 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;

– подготовка, представление и обсуждение презентаций на занятиях;

– организация и проведение текущего контроля знаний аспирантов в форме бланкового тестирования;

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

– проведение мастер-классов экспертов и специалистов по методам современного проектирования и 3D-моделирования теплоэнергетических установок, а также эффективных методов эксплуатации промышленных теплоэнергетических установок.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

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

- подготовка и выступление с презентацией и обсуждением на тему «Современные методы интенсификации теплообмена в теплоэнергетических установках» (индивидуально для каждого обучающегося);
- решение ситуационных задач, анализ принятых проектных решений;
- тестирование.

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают контрольные вопросы и задания в форме бланкового и (или) компьютерного тестирования, для контроля освоения обучающимися разделов дисциплины.

Образцы тестовых заданий, 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
ОПК-3	способностью к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности

ПК-3	способностью использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники

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).

ОПК-3 - способностью к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности

Показатель	**Критерии оценивания**			
	Оценка «неудовлетворительно» или отсутствие сформированности компетенции	**Оценка «удовлетворительно» или низкой уровень освоения компетенции**	**Оценка «хорошо» или повышенный уровень освоения компетенции**	**Оценка «отлично» или высокий уровень освоения компетенции**
знать: основные способы разработки новых методов исследования и их применения в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: основные способы разработки новых методов исследования и их применения в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: основные способы разработки новых методов исследования и их применения в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: основные способы разработки новых методов исследования и их применения в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: основные способы разработки новых методов исследования и их применения в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности, свободно оперирует приобретенными знаниями.

		значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	операциях.	
уметь: разрабатывать новые методы исследования и применять их в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет разрабатывать новые методы исследования и применять их в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: разрабатывать новые методы исследования и применять их в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: разрабатывать новые методы исследования и применять их в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: разрабатывать новые методы исследования и применять их в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: методологией разработки новых методов исследования и их применения в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методологией разработки новых методов исследования и их применения в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности	Обучающийся владеет методологией разработки новых методов исследования и их применения в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности 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 методологией разработки новых методов исследования и их применения в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет методологией разработки новых методов исследования и их применения в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.
ПК-3 - способностью использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники				

знать: методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники, свободно оперирует приобретенными знаниями.
уметь: использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: методами научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся владеет методами научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по	Обучающийся частично владеет методами научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при	Обучающийся в полном объеме владеет методами научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники, свободно применяет полученные навыки в ситуациях

		ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	повышенной сложности.

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

Форма промежуточной аттестации: зачет.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме зачёта 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 «зачтено» или «не зачтено».

Шкала оценивания	**Описание**
Зачтено	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Аспирант 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.
Не зачтено	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Аспирант демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, аспирант 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. Общая энергетика: учебное пособие / В.В. Шапошников, Е.В. Кочарян, Н.Г. Андрейко [и др.]. — Краснодар: КубГТУ, 2020. — 287 с. — ISBN 978-5-8333-

0955-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167042

2. Чичиндаев, А.В. Оптимизация компактных пластинчато-ребристых теплообменников. Теоретические основы: учебное пособие / А.В. Чичиндаев. — Новосибирск: НГТУ, 2017. — 436 с. — ISBN 978-5-7782-3320-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/118062.

3. Органический цикл Ренкина в автономной теплоэнергетической системе: монография / А.А. Кишкин, О.В. Шилкин, А.В. Делков [и др.]. — Красноярск: СибГУ им. академика М.Ф. Решетнёва, 2019. — 234 с. — ISBN 978-5-86433-777-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/147625.

4. Моисеев Б.В. Промышленная теплоэнергетика [Электронный ресурс]: учеб. / Б.В. Моисеев, Ю.Д. Земенков, С.Ю. Торопов. — Электрон. дан. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. — 236 с.

5. Теплоэнергетика и теплотехника: Справочная серия: В 4 кн. Кн. 4. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: справочник [Электронный ресурс]: справ. — Электрон. дан. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2007. — 632 с.

6. Сазанов Б.В. Промышленные теплоэнергетические установки и системы: учеб. пособие для вузов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Б.В. Сазанов, В.И. Ситас. — Электрон. дан. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2014. — 275 с.

7. Теплообменные аппараты ТЭС: справочник: в 2 кн. Книга 1 [Электронный ресурс]: справ. / Даминов А.З. [и др.]. — Электрон. дан. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2016. — 490 с.

б) дополнительная литература:

1. Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, ученых и специалистов: материалы конференции / под редакцией А. Н. Халина. — Тюмень: ТИУ, 2020 — Том 2 — 2020. — 253 с. — ISBN 978-5-9961-2494-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/237095.

2. Семенов Б.А. Инженерный эксперимент в промышленной теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2013. — 384 с.

3. Теплоэнергетические установки: Сборник нормативных документов [Электронный ресурс]: сб. — Электрон. дан. — Москва: ЭНАС, 2013. — 384 с.

4. Кудинов А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях [Электронный ресурс] / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. — Электрон. дан. — Москва: Машиностроение, 2011. — 374 с.

5. Акулич П.В. Расчеты сушильных и теплообменных установок [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Минск: , 2010. — 443 с.

6. Бакланова В.Г. Теплообменные аппараты низкотемпературных установок и систем термостатирования. Часть 1. «Аппараты трубчатого и пластинчато - ребристого типов» [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.Г. Бакланова, Ю.А. Шевич. — Электрон. дан. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 68 с.

в) программное обеспечение и интернет-ресурсы:

Программное обеспечение не предусмотрено.

Варианты контрольных заданий по дисциплине представлены на сайтах: http://i-exam.ru.

Полезные учебно-методические и информационные материалы представлены на сайтах:

https://e.lanbook.com/journal/2560

https://e.lanbook.com/journal/2416

Электронная библиотека – https://online.mospolytech.ru/course/view.php?d=7621

ЭБС «Университетская библиотека онлайн» – https://biblioclub.ru

ЭБС «Лань» – https://e.lanbook.com

ЭБС «Znanium.com» – https://new.znanium.com

Образовательная платформа Юрайт – https://urait.ru

Национальная электронная библиотека – https://rusneb.ru

На компьютерах (кафедры, компьютерные классы) – по прямой ссылке http://172.16.3.18:8080/docs/ справочная система «Техэксперт» (АО «Кодекс»)

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.), а также аудитории корпуса УРБАН.ТЕХНОГРАД Инновационно-образовательного комплексе «Техноград», который расположен на территории ВДНХ.

9. Методические рекомендации для преподавателя

Преподавание дисциплины «Методы интенсификации теплообмена в

энергетических установках» имеет своей целью ознакомить аспирантов с достижениями в области фундаментальных основ теплотехники, проектирования и эксплуатации теплоэнергетических установок, добиться уяснения ими эффективных методов моделирования, расчета промышленного оборудования и энергоустановок, порядка их применения, привить им практические навыки использования этих знаний.

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 аспирантов.

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) аспирантов по материалам дисциплины. Подборка вопросов для тестирования осуществляется на основе изученного теоретического материала.

Для освоения навыков поисковой и исследовательской деятельности аспирант 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 аспирантов и конкретной темы.

Самостоятельная работа аспирантов 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 аспирантами разных по форме и содержанию работ и заданий, связанных с практическим освоением содержания дисциплины. Аспиранты 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 аспирантов также осуществляется через проведение ряда промежуточных тестирований. Итоговая аттестация по дисциплине предполагает экзамен, на которых проверяется усвоение материала, усвоение базовых понятий дисциплины.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.06.01 «Электро- и теплотехника» и профилю «Промышленная теплоэнергетика».

Автор

Профессор кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
д.т.н., профессор С.Д. Корнеев

Программа обсуждена на заседании кафедры «Промышленная теплоэнергетика».

Протокол от 30.08.2021 г. № 1.

Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»

к.т.н., доцент Л.А. Марюшин

Руководитель ООП С.Д. Корнеев

Приложение 1

Структура и содержание дисциплины «Методы интенсификации теплообмена в энергетических установках» по направлению подготовки 13.06.01 «Электро- и теплотехника»

	Раздел	Семестр	Неделя семестра	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	Реферат	К/р	Э	З
	Четвертый семестр	4													
1.1	**Цели и задачи изучения дисциплины. Основные термины, определения и понятия. Цель интенсификации конвективного теплообмена. История создания и эволюция интенсифицированных конвективных поверхностей нагрева. Достоинства и недостатки некоторых конструкций теплообменных аппаратов с интенсификацией теплоотдачи. Условия, определяющие выбор метода. Отрывная зона как средство целенаправленной дополнительной турбулизации потока. Анализ различных методов интенсификации теплообмена. Выбор рационального метода интенсификации теплообмена в прямых каналах и при продольном обтекании пучков труб. Гидравлическое сопротивление и теплообмен в продольно обтекаемых пучках гладких труб. Гидравлическое сопротивление и теплообмен в кольцевых каналах. Интенсификация теплообмена в продольно омываемых пучках труб с помощью поперечных кольцевых канавок. Интенсификация теплообмена в кольцевых каналах с канавками на внутренней трубе. Интенсификация теплообмена в кольцевых каналах с помощью поперечного оребрения. Интенсификация теплообмена в продольно омываемых пучках труб с помощью с помощью поперечных ребер. Интенсификация теплообмена в кольцевых каналах при односторонних комбинированных турбулизаторах типа «выступ-канавка».**	**4**	**1**	**2**			17	+								
1.2	Выбор метода интенсификации теплообмена (практическое занятие)	4	1		1		2	+			+				
1.3	Интенсификация теплообмена в трубах (практическое занятие)	4	1		1		2	+			+				

1.4	Интенсификация теплообмена в продольно обтекаемых пучках труб и кольцевых каналах (практическое занятие)	4	1		2		2	+			+				
1.5	**Гидравлическое сопротивление и теплообмен в плоских каналах с гладкими стенками. Интенсификация теплообмена в плоских каналах с помощью поперечного оребрения. Интенсификация теплообмена в каналах треугольного поперечного сечения. Методы интенсификации теплообмена при кипении. Теплообмен в дисперсном режиме пленочного кипения в окрестности отрывных зон. Интенсификация теплообмена в дисперсном режиме пленочного кипения. Интенсификация теплообмена в стержневом режиме пленочного кипения. Интенсификация теплообмена при поверхностном кипении воды в трубах. Интенсификация теплообмена при поверхностном кипении органических веществ в трубах. Методы интенсификации теплообмена при конденсации. Интенсификация теплообмена при конденсации водяного пара на горизонтальных трубах с кольцевыми канавками. Интенсификация теплообмена при конденсации пара на наружной поверхности вертикальных труб с кольцевыми канавками. Интенсификация теплообмена в трубах при частичной конденсации.**	**4**	**2**	**2**			17	+							
1.6	Интенсификация теплообмена в плоских и треугольных каналах (практическое занятие)	4	2		2		2	+			+				
1.7	Интенсификация теплообмена при кипении (практическое занятие)	4	2		1		2	+			+				
1.8	Интенсификация теплообмена при конденсации (практическое занятие)	4	2		1		2	+			+				
1.9	**Основные способы борьбы с солеотложениями в теплообменных аппаратах. Модель процесса солеотложения при обтекании охлаждающей водой труб с кольцевыми турбулизаторами. Особенности солеотложений и теплопередачи на наружной и внутренней поверхностях труб с кольцевыми турбулизаторами. Требования к теплообменникам. Способы интенсификации теплообмена. Выбор рационального способа интенсификации процесса теплообмена. Методы оценок интенсификации конвективного теплообмена. Способ исследования теплоотдачи с непосредственным измерением температуры теплопередающей стенки. Способ исследования теплоотдачи с расчетным определением температуры теплопередающей стенки. Гидравлические сопротивления и энергоемкость процесса конвективной теплоотдачи.**	**4**	**3**	**2**			16	+							
1.10	Интенсификация теплообмена при солеотложениях на поверхностях труб (практическое занятие)	4	3		1		2	+			+				
1.11	Теплообменники с высокой теплоэнергетической эффективностью	4	3		1		2	+			+				

	(практическое занятие)														
1.12	Оребрённые поверхности нагрева паровых котлов. Методы расчета и выбора интенсифицированных конвективных поверхностей нагрева паровых котлов (практическое занятие)	4	3		2		2	+			+				
1.13	**Основные виды пластинчатых теплообменников и их устройство. Основные виды теплопередающих пластин и их классификация. Вспомогательные узлы пластинчатых теплообменников. Схемы пластинчатых теплообменников и движение рабочих сред в каналах. Конструкции, область применения и технико-экономические аспекты. Технология изготовления оребрённых конвективных и ширмовых поверхностей нагрева. Влияние реальных условий эксплуатации на тепловые и аэродинамические характеристики и температурный режим. Золовой износ и золовой занос оребрённых конвективных поверхностей нагрева. Расчет оптимальных скоростей движения рабочих сред, гидравлических, аэродинамических сопротивлений и энергозатрат. Тепловой расчет интенсифицированных конвективных поверхностей нагрева в условиях сжигания различных видов топлива.**	**4**	**4**	**2**			16	+							
1.14	Эффективность использования различных конструкций теплообменников и различных типов интенсифицированных конвективных поверхностей нагрева паровых котлов (практическое занятие)	4	4		2		4	+			+				
	Форма аттестации	4	5-6					+			+				**З**
	Всего часов по дисциплине в четвертом семестре			8	12	0	88	0							

Приложение 2

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Направление подготовки: 13.06.01 Электро- и теплотехника
ОП (профиль): «Промышленная теплоэнергетика»
Форма обучения: очная

Кафедра: «Промышленная теплоэнергетика»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«Методы интенсификации теплообмена в энергетических установках»

Москва
2021

Таблица 1
к приложению 2

Паспорт фонда оценочных средств

Методы интенсификации теплообмена в энергетических установках					
ФГОС ВО **13.06.01 Электро- и теплотехника**					
КОМПЕТЕНЦИИ		**Перечень компонентов**	**Технология формирования**	**Форма оценочного средства**	**Степени уровней освоения компетенций**
ИНДЕКС	**ФОРМУЛИРОВКА**				
ОПК-3	способностью к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности	**знать:** основные способы разработки новых методов исследования и их применения в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области професс. деятельности **уметь:** разрабатывать новые методы исследования и применять их в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области професс. деятельности **владеть:** методологией разработки новых методов исследования и их применения в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области професс. деятельности	Лекция, решение ситуационных задач, СРС	Экзамен, тестирование, решение ситуационных задач	Базовый уровень: владеет способностью к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности. Повышенный уровень: владеет способностью к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности в нестандартных ситуациях с их последующим анализом

ПК-3	способностью использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	**знать:** методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники **уметь:** использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники **владеть:** методами научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	Лекция, семинарские занятия, решение ситуационных задач, СРС	Экзамен, тестирование, решение ситуационных задач	Базовый уровень: способен использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники в стандартных ситуациях. Повышенный уровень: способен использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники в нестандартных 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. Выбор метода интенсификации теплообмена.
2. Интенсификация теплообмена в трубах.
3. Интенсификация теплообмена в продольно обтекаемых пучках труб и кольцевых каналах.
4. Интенсификация теплообмена в плоских и треугольных каналах.
5. Интенсификация теплообмена при кипении.
6. Интенсификация теплообмена при конденсации.
7. Интенсификация теплообмена при солеотложениях на поверхностях труб.
8. Теплообменники с высокой теплоэнергетической эффективностью
9. Оребрённые поверхности нагрева паровых котлов. Методы расчета и выбора интенсифицированных конвективных поверхностей нагрева паровых котлов.
10. Эффективность использования различных конструкций теплообменников и различных типов интенсифицированных конвективных поверхностей нагрева паровых котлов

Приложение 4

Вопросы для самоконтроля

1. Физические основы аналогии процессов переноса теплоты и импульса.
2. Определение тепловой мощности и затраченной мощности в процессе теплопередачи.
3. Инженерная модель турбулентного переноса теплоты и импульса.
4. Понятие «интенсифицированная поверхность теплопередачи».
5. Методы интенсификации процессов переноса теплоты и импульса.
6. Физические методы воздействия на основное термическое сопротивление теплопередачи.
7. Формирование структуры потока теплоносителя на входных участках каналов круглого и некруглого поперечного сечения.
8. Организация течений во входных (начальных) участках каналах как метод интенсификации теплопередачи.
9. Понятие энергетическая эффективность.
10. Снижение гидродинамического сопротивления в каналах с интенсификацией как метод повышения энергетической эффективности теплопередающих систем.

11. Особенности течения и теплообмена в каналах с отрывом и присоединением потока теплоносителя.

12. Локальные гидродинамические характеристики при поперечном обтекании теплопередающих каналов.

13. Локальная теплоотдача на поверхности поперечноомываемого канала.

14. Традиционные компоновки пучков труб «коридорные» и «шахматные». Характер обтекания и особенности теплогидродинамических процессов.

15. Теплоотдача и гидродинамическое сопротивление при течениях теплоносителя в межтрубных каналах трубных пучков (Нормативный метод).

16. Нетрадиционные компоновки пучков труб, особенности течения и теплообмена в пучках «конфузорно-диффузорого» типа.

17. Локальная теплоотдача вдоль периметра при обтекании труб в пучках «извилистого» типа.

18. Локальное распределение поверхностного трения при омывании труб в пучках «диффузорного» типа.

19. Локальное статическое давление на поверхности труб в пучках «конфузорного» типа.

20. Локальная теплоотдача вдоль периметра при обтекании труб в пучках «конфузорного» типа.

21. Локальное трение на поверхности труб в пучках «коридорно-диффузорного» типа.

22. Локальная теплоотдача труб в пучках «коридорно-диффузорного» типа.

23. Гидродинамическое сопротивление пучков труб «конфузорно-диффузорного» типа в сравнении с сопротивлением традиционных пучков.

Приложение 5

Вопросы к экзамену

1. Выбор рационального метода интенсификации теплообмена в прямых каналах и при продольном обтекании пучков труб.

2. Закономерность изменения теплоотдачи на стенках каналов с дискретной турбулизацией потока.

3. Интенсификация теплообмена в области перехода к турбулентному течению.

4. Теоретические методы расчета интенсификации теплообмена при турбулентном течении.

5. Влияние чисел Рейнольдса и Прандтля на теплообмен и гидравлическое со-противление в трубах с искусственными турбулизаторами.

6. Влияние формы профиля турбулизатора на теплообмен и гидравлическое сопротивление в трубах с искусственными турбулизаторами.

7. Влияние температурного фактора в условиях искусственной турбулизации потока.

8. Гидравлическое сопротивление и теплообмен в продольно обтекаемых пучках гладких труб.

9. Гидравлическое сопротивление и теплообмен в кольцевых каналах.

10. Интенсификация теплообмена в продольно омываемых пучках труб с помощью поперечных кольцевых канавок.

11. Интенсификация теплообмена в кольцевых каналах с канавками на внутренней трубе.

12. Интенсификация теплообмена в кольцевых каналах с помощью поперечного оребрения.

13. Интенсификация теплообмена в продольно омываемых пучках труб с помощью с помощью поперечных ребер.

14. Интенсификация теплообмена в кольцевых каналах при односторонних комбинированных турбулизаторах типа «выступ-канавка».

15. Гидравлическое сопротивление и теплообмен в плоских каналах с гладкими стенками.

16. Интенсификация теплообмена в плоских каналах с помощью поперечного оребрения.

17. Интенсификация теплообмена в каналах треугольного поперечного сечения.

18. Методы интенсификации теплообмена при кипении.

19. Теплообмен в дисперсном режиме пленочного кипения в окрестности отрывных зон.

20. Интенсификация теплообмена в дисперсном режиме пленочного кипения.

21. .Интенсификация теплообмена в стержневом режиме пленочного кипения.

22. Интенсификация теплообмена при поверхностном кипении воды в трубах.

23. Интенсификация теплообмена при кипении жидкости на поверхности труб.

24. Методы интенсификации теплообмена при конденсации.

25. Интенсификация теплообмена при конденсации водяного пара на горизонтальных трубах с кольцевыми канавками.

26. Интенсификация теплообмена при конденсации пара на наружной поверхности вертикальных труб с кольцевыми канавками.

27. Интенсификация теплообмена в трубах при частичной конденсации.

28. Интенсификация теплообмена при конденсации смесей паров на вертикальных поверхностях.

29. Основные способы борьбы с солеотложениями в теплообменных аппаратах.

30. Модель процесса солеотложения при обтекании охлаждающей водой труб с кольцевыми турбулизаторами.

31. Особенности солеотложений и теплопередачи на наружной и внутренней поверхностях труб с кольцевыми турбулизаторами.

32. Теплообменники с высокой теплоэнергетической эффективностью.

33. Экспериментальные исследования интенсифицированного конвективного теплообмена в каналах с различной формой поверхности нагрева.

34. Современные пластинчатые теплообменные аппараты.

35. Кожухотрубчатые, спиральные и пластинчато-ребристые теплообменники.

36. Оребрённые поверхности нагрева паровых котлов.

37. Методы расчета и выбора теплообменных аппаратов с высокой теплоэнергетической эффективностью.

38. Методы расчета и выбора интенсифицированных конвективных поверхностей нагрева паровых котлов.

39. Эффективность использования различных конструкций теплообменников и различных типов интенсифицированных конвективных поверхностей нагрева паровых котлов.

40. Опыт применения теплообменных аппаратов и конвективных поверхностей нагрева с высокой теплоэнергетической эффективностью.

41. Технико-экономические расчеты и оптимизация поверхностей нагрева из оребрённых труб и теплообменных аппаратов с интенсификацией теплоотдачи.

Приложение 6

Примеры задач для семинарских занятий

Задача 1. По стальной трубе, внутренний диаметр и внешний диаметр которой соответственно d_1 и d_2, а коэффициент теплопроводности $\lambda = 40$ Вт/(м·К) течёт газ со средней температурой $T_{ж1}$ коэффициент теплоотдачи от газа к стенке α_1. Снаружи труба охлаждается водой со средней температурой $T_{ж2}$, коэффициент теплоотдачи от стенки к воде α_2.

Определить линейный коэффициент теплопередачи от газа к воде и линейную плотность теплового потока. Найти температуры на внутренней и внешней поверхности трубы; результаты представить графически.

Задача 2. В котле вода нагревается за счёт сжигания угля, толщина стенки котла δ, температура дымовых газов $T_{ж1}$, температура воды $T_{ж2}$. Коэффициенты теплоотдачи от газов к стенке α_1, от стенки к воде α_2, а коэффициент теплопроводности материала стенки $\lambda = 50$ Вт/(м·К).

В процессе эксплуатации поверхность нагрева со стороны дымовых газов покрылась слоем сажи толщиной δ_c=1 мм с коэффициентом теплопроводности λ_c = 0,093 Вт/(м·К), и со стороны воды слоем накипи толщиной $\delta_н$ = 2 мм и коэффициентом теплопроводности $\lambda_н$ = 0,93 Вт/(м·К).

Определить температуры T_{c1} и T_{c2} на поверхностях стенки чистого котла и плотность теплового потока. Определить плотность теплового потока с учётом отложений на стенках котла и определить уменьшение тепловой нагрузки в процентах. Найти температуры на поверхностях соответствующих слоёв T_{c1}, T_{c2}, T_{c3}, T_{c4}; результаты представить графически.

Задача 3. В водо–водяном ядерном реакторе стержневой тепловыделяющий элемент (ТВЭЛ) выполнен из двуокиси урана с тонкостенной оболочкой из нержавеющей стали. Длина активной части ТВЭЛА l=3 м, диаметр d, мощность внутренних источников тепла $q_v = 3 \cdot 108$ Вт/м^3. Выделившаяся теплота отводится к жидкости с температурой $T_ж$. Коэффициент теплопроводности материала

стержня λ = 3 Вт/(м·К), коэффициент теплоотдачи от стенки к жидкости α= 25000 Вт/(м^2·К).

Определить температуру стенки T_c ТВЭЛа, температуру топлива на оси стержня T0, тепловой поток Q и объем топлива в стержне V.

Задача 4. Стальной вал диаметром d, начальной температурой T_0 = 20 ^{0}C, который можно условно считать сплошным цилиндром бесконечной длины, обогревается снаружи паром температурой $T_ж$ = 270 ^{0}C в течение времени τ, коэффициент теплоотдачи от пара к поверхности вала α = 100 Вт/(м^2·К); коэффициент теплопроводности материала вала λ = 50 Вт/(м·К); коэффициент температуропроводности a = 1,25·10^{-5} м^2/с.

Определить температуру на поверхности вала и температуру на оси вала.

Задача 5. Воздух нагревается при помощи горизонтально расположенной трубы длиной *l* = 1,5 м, диаметром d. Температура стенки трубы T_c, температура воздуха вдали от трубы $T_ж$. Коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к воздуху определить при средней температуре воздуха в пограничном слое. Определить тепловой поток и линейную плотность теплового потока.

Задача 6. В большом объеме испарителя происходит пузырьковое кипение воды при температуре насыщения пара $T_н$, при этом плотность теплового потока составляет q. Общая площадь поверхности теплообмена испарителя F = 5 м^2.

Определить коэффициент теплоотдачи по эмпирической размерной формуле Михеева, температуру на поверхности теплообмена и тепловой поток.

Задача 7. Сухой насыщенный водяной пар давлением *p* конденсируется на горизонтальной трубе длиной 2 м и наружным диаметром d, температура поверхности трубы на ΔT ниже температуры насыщения пара.

Определить среднее значение коэффициента теплоотдачи по формуле Нуссельта, тепловой поток и количество сконденсировавшегося пара за час на поверхности трубы.