



Федеральное агентство по рыболовству
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ
Начальник УРОПСИ

Фонд оценочных средств
(приложение к рабочей программе дисциплины)
«ГИДРОДИНАМИКА И ТЕПЛОБМЕН В ЖИДКОСТЯХ»

основной профессиональной образовательной программы магистратуры
по направлению подготовки

13.04.01 ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

ИНСТИТУТ

морских технологий, энергетики и строительства

РАЗРАБОТЧИК

кафедра энергетики

1 РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными индикаторами достижения компетенций

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Дисциплина	Результаты обучения (владения, умения и знания), соотнесенные с компетенциями/индикаторами достижения компетенции
<p>ПК-5 Способен формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования, мероприятиями по улучшению эксплуатационных характеристик, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов</p>	<p>ПК-5.3 Применяет энергоэффективные технологии при расчете и проектировании тепло массообменного оборудования</p>	<p>Гидродинамика и теплообмен в жидкостях</p>	<p><u>Знать:</u> основные виды теплообмена; стационарный и нестационарный теплообмен в период пуска (остановки) и работы теплоэнергетического оборудования; теплообмен при кипении теплоносителя, кризисы теплообмена; теплообмен с жидкометаллическим теплоносителем; основы теплогидравлического расчёта теплоэнергетического оборудования.</p> <p><u>Уметь:</u> использовать основные законы теплообмена в профессиональной деятельности; рассчитывать температурные поля (поля концентрации веществ) в потоках технологических жидкостей и газов, в элементах конструкций тепловых и технологических установок с целью интенсификации процессов теплообмена, обеспечения нормального температурного режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты; рассчитывать передаваемые тепловые потоки.</p> <p><u>Владеть:</u> навыками теплогидравлического расчёта теплообменных аппаратов теплоэнергетических установок и систем теплоснабжения, навыками использования специальной научной литературой при постановке и решении задач.</p>

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОЭТАПНОГО ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ) И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

2.1 Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

2.2 К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- тестовые задания;
- задания и контрольные вопросы по лабораторным работам;
- задание по контрольной работе;

2.3 К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме зачета, относятся:

- промежуточная аттестация в форме зачета проходит по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости.

3 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ

3.1 Тестовые задания по дисциплине представлены в Приложении № 1. Целью тестирования является закрепление, углубление и систематизация знаний студентов, полученных на занятиях и в процессе самостоятельной работы; проведение тестирования позволяет ускорить контроль за усвоением знаний и объективизировать процедуру оценки знаний студента.

Оценивание осуществляется по следующим критериям, приведенным в таблице 2:

- «зачтено» – 41-100 % правильных ответов на заданные вопросы;
- «не зачтено» – 0-40 % правильных ответов.

3.2 Задания и контрольные вопросы по лабораторным работам приведены в Приложении № 2. Целью лабораторного практикума является закрепление знаний и умений, полученных на занятиях. Оценка результатов выполнения задания по каждой лабораторной работе производится при представлении студентом отчета по лабораторной работе и на основании ответов студента на вопросы по тематике лабораторной работы по системе «зачтено» - «не зачтено». Критерии оценивания представлены в таблице 2.

3.3 Задание по контрольной работе выдается студентам с целью контроля качества их самостоятельной работы. Контрольная работа предполагает решение пяти задач и ответы на два вопроса. Типовые задачи и их варианты, а также варианты контрольных вопросов приведены в Приложении № 3. Сами контрольные вопросы выбираются из Приложения № 4. Всего разработано 20 вариантов контрольной работы. Для каждого студента вариант контрольной работы определяется преподавателем. Консультации по выполнению контрольной работы, её проверка и защита проводятся преподавателем в часы индивидуальных консультаций.

Выполненную контрольную работу студенты сдают на проверку преподавателю, который делает замечания и пишет рецензию. В случае отсутствия серьёзных замечаний студент допускается к защите контрольной работы. При наличии серьёзных замечаний работа

направляется на доработку. Защита проводится в часы индивидуальных консультаций преподавателя. Студент, самостоятельно выполнивший задание и обладающий полнотой знаний в отношении изучаемых объектов, получает оценку «зачтено». Система оценивания и критерии оценки контрольной работы представлены в таблице 2.

4 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

4.1 Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости.

Оценка «зачтено» выставляется студентам, получившим положительную оценку («зачтено») по результатам выполнения и защиты заданий по лабораторным работам, тестирования, выполнения и защиты контрольной работы.

4.2 В отдельных случаях (в случаях не выполнения всех видов текущего контроля) зачет принимается по контрольным вопросам, которые приведены в Приложении № 4. Оценка результатов сдачи зачета («зачтено» или «не зачтено») осуществляется в соответствии с критериями, указанными в таблице 2.

Универсальная система оценивания результатов обучения, приведенная в таблице 2, включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100 - балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему.

Таблица 2 – Система и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
Критерий	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2. Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоя-	Может найти необходимую информацию в рамках постав-	Может найти, интерпретировать и систематизировать не-	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а так-

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0-40%	41-60%	61-80 %	81-100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
	нии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	ленной задачи	обходимую информацию в рамках поставленной задачи	же выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задаче данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

5 СВЕДЕНИЯ О ФОНДЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И ЕГО СОГЛАСОВАНИИ

Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине «Гидродинамика и теплообмен в жидкостях» представляет собой компонент основной профессиональной образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника.

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен на заседании кафедры энергетики (протокол № 4 от 29.03.2022).

Заведующий кафедрой



В.Ф. Белей

Приложение № 1

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Вариант 1

ПКС-5: Способность формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования, мероприятиями по улучшению эксплуатационных характеристик, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов.

Индикатор ПКС-5.3: Применяет энергоэффективные технологии при расчете и проектировании теплообменного оборудования

Вопрос 1. Количество тепла, которое передается за единицу времени через единицу площади изотермической поверхности при температурном градиенте, равном единице называется:

1. Коэффициентом теплоотдачи	3. Коэффициентом теплопроводности
2. Коэффициентом теплопередачи	4. Коэффициент температуропроводности

Вопрос 2. К условиям однозначности системы дифференциальных уравнений конвективного теплообмена относят (возможны два правильных ответа):

1. Геометрические условия, гравитационные условия	3. Граничные условия, временные условия
2. Геометрические условия, физические условия	4. Физические условия, химические условия

Вопрос 3. Слой жидкости около твердой поверхности, в пределах которого температура жидкости изменяется от температуры стенки, до температуры жидкости вдали от тела называется:

1. Турбулентный, вязкий подслой	3. Тепловой пограничный слой
2. Переходный пограничный слой	4. Гидродинамический пограничный слой

Вопрос 4. При конвективном теплообмене при вынужденном продольном омывании жидкостью плоской пластины толщина теплового пограничного слоя может совпадать с толщиной гидродинамического пограничного слоя при:

1. $Pr = 10,0$	3. $Pr = 1,0$
2. $Pr > 1,0$	4. $Nu = 1,0$

Вопрос 5. При увеличении скорости движения жидкости в канале круглого сечения в 1,5 раза, падение давления в канале:

1. Увеличится в 3,0 раза	3. Увеличится в 2,25 раза
2. Уменьшится в 1,5 раза	4. Увеличится в 4,5 раза

Вопрос 6. Истинным объемным паросодержанием двухфазного парожидкостного потока двигающегося в вертикальном канале называют:

1. Отношение массового расхода пара в данном сечении трубы к массовому расходу парожидкостной смеси	3. Отношение объемного расхода пара в данном сечении трубы к объемному расходу парожидкостной смеси
2. Отношение площади поперечного сечения занятого паром к полной площади поперечного сечения канала	4. Произведение объемного расхода парожидкостной смеси в данном сечении на её массовую скорость

Вопрос 7. С увеличением температурного напора $\Delta t = (t_n - t_{ct})$ коэффициент теплоотдачи при капельной конденсации неподвижного пара на горизонтальной трубе:

1. Увеличивается	3. Уменьшается
2. Остаётся неизменным	4. Сначала увеличивается, а потом начинает уменьшаться

Вопрос 8. Толщина гидродинамического пограничного слоя при турбулентном движении жидкости вдоль плоской пластины зависит от числа Рейнольдса:

1. $\delta \sim \frac{1}{Re_x}$	3. $\delta \sim Re^{0,5}$
2. $\delta \sim \frac{1}{\sqrt{Re_x}}$	4. $\delta \sim \frac{1}{Re_x^{0,2}}$

Вопрос 9. Коэффициент теплоотдачи при вынужденном движении кипящей жидкости в трубе α при $0,5 \leq \alpha_k / \alpha_w \leq 2,0$ определяется по формуле (где α_k – коэффициент теплоотдачи при пузырьковом кипении в большом объёме, α_w – коэффициент теплоотдачи при турбулентном течении жидкости в трубе):

1. $\alpha = \alpha_w \frac{4 \alpha_w + \alpha_k}{5 \alpha_w - \alpha_k}$	3. $\alpha = \alpha_w$
2. $\alpha = \alpha_k$	4. $\alpha = 0,5(\alpha_w + \alpha_k)$

Вопрос 10. Фактор, который НЕ оказывает влияние на коэффициент теплоотдачи при плёночной конденсации пара на поверхности трубы:

1. Шероховатость поверхности трубы	3. Материал трубы
2. Содержание в паре неконденсирующихся газов	4. Расположение трубы (вертикальное или горизонтальное)

Вариант 2

ПКС-5: Способность формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования, мероприятиями по улучшению эксплуатационных характеристик, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов.

Индикатор ПКС-5.3: Применяет энергоэффективные технологии при расчете и проектировании тепломассообменного оборудования

Вопрос 1. Количество тепла, отдаваемое в единицу времени, через единицу площади поверхности при разности температур между поверхностью и жидкостью, равной одному градусу называется:

1. Коэффициентом теплоотдачи	3. Коэффициентом теплопроводности
2. Коэффициентом теплопередачи	4. Коэффициент температуропроводности

Вопрос 2. К дифференциальным уравнениям конвективного теплообмена относят:

1. Уравнение конвекции, уравнение энергии, уравнение движения	3. Уравнение движения, уравнение сплошности, уравнение диффузии
2. Уравнение энергии, уравнение движения, уравнение сплошности	4. Уравнение теплопроводности, уравнение движения, уравнение энергии

Вопрос 3. Тонкий слой заторможенной около твёрдой поверхности жидкости, в котором скорость жидкости падает от скорости невозмущённого потока до нуля, называется:

1. Турбулентный, вязкий подслой	3. Переходный пограничный слой
2. Тепловой пограничный слой	4. Гидродинамический пограничный слой

Вопрос 4. При конвективном теплообмене при вынужденном продольном омывании жидкостью плоской пластины толщина теплового пограничного слоя может быть меньше толщины гидродинамического пограничного слоя при:

1. $Pr = 10,0$	3. $Pr = 1,0$
2. $Pr > 1,0$	4. $Nu = 1,0$

Вопрос 5. Турбулентное движение жидкости и перенос теплоты называются квазистационарными:

1. Если средние значения вектора скорости и турбулентные пульсации температуры с течением времени остаются постоянными.	3. Если средние значения вектора скорости и температуры жидкости с течением времени остаются постоянными.
2. Если с течением времени турбулентные пульсации температуры и скорости жидкости не изменяются.	4. Если средние значения температуры жидкости и турбулентные пульсации скорости жидкости с течением времени остаются постоянными.

Вопрос 6. Коэффициент гидравлического сопротивления потоку жидкости двигающейся в прямом канале при внезапном изменении поперечного сечения канала зависит:

1. От отношения меньшего поперечного сечения канала к длине канала	3. От отношения меньшего поперечного сечения канала к большему поперечному сечению канала
2. От произведения меньшего и большего поперечных сечений канала	4. От отношения большего поперечного сечения канала к длине канала

Вопрос 7. При уменьшении внутреннего диаметра канала круглого сечения в 2 раза, падение давления в канале:

1. Увеличится в 4 раза	3. Увеличится в 2 раза
2. Увеличится в 16 раз	4. Увеличится в 32 раза

Вопрос 8. При пузырьковом кипении воды в большом объёме первая критическая плотность теплового потока будет:

1. Меньше второй критической плотности теплового потока	3. Больше или меньше второй критической плотности теплового потока в зависимости от температурного напора
2. Равна второй критической плотности теплового потока	4. Больше второй критической плотности теплового потока

Вопрос 9. Коэффициент теплоотдачи при вынужденном движении кипящей жидкости в трубе α при $\alpha_k/\alpha_w > 2,0$ определяется по формуле (где α_k – коэффициент теплоотдачи при пузырьковом кипении в большом объёме, α_w – коэффициент теплоотдачи при турбулентном течении жидкости в трубе):

1. $\alpha = \alpha_w \frac{4 \alpha_w + \alpha_k}{5 \alpha_w - \alpha_k}$	3. $\alpha = \alpha_w$
2. $\alpha = \alpha_k$	4. $\alpha = 0,5(\alpha_w + \alpha_k)$

Вопрос 10. С увеличением температурного напора $\Delta t = (t_n - t_{ст})$ коэффициент теплоотдачи при плёночной конденсации неподвижного пара на вертикальной стенке:

1. Увеличивается	3. Уменьшается
2. Остаётся неизменным	4. Увеличивается или уменьшается в зависимости от давления пара

Вариант 3

ПКС-5: Способность формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования, мероприятиями по улучшению эксплуатационных характеристик, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов.

Индикатор ПКС-5.3: Применяет энергоэффективные технологии при расчете и проектировании теплообменного оборудования.

Вопрос 1. Количество тепла, передаваемое в единицу времени, через единицу площади поверхности стенки от одной жидкости к другой при разности температур между ними равной одному градусу называется:

1. Коэффициентом теплоотдачи	3. Коэффициентом теплопроводности
2. Коэффициентом теплопередачи	4. Коэффициент температуропроводности

Вопрос 2. Математическое описание задачи конвективного теплообмена составляют:

1. Система дифференциальных уравнений движения, сплошности, диффузии в совокупности с условиями однозначности	3. Система дифференциальных уравнений конвекции, движения, сплошности в совокупности с условиями однозначности
2. Система дифференциальных уравнений энергии, движения, теплопроводности в совокупности с условиями однозначности	4. Система дифференциальных уравнений энергии, движения, сплошности в совокупности с условиями однозначности

Вопрос 3. К основным безразмерным числам подобия, характеризующим конвективный теплообмен в жидкостях, относят:

1. Число Нуссельта, число Вебера, число Стокса	3. Число Пекле, число Кутателадзе, число Релея
2. Число Грасгофа, число Рейнольдса, число Прандтля	4. Число Био, число Фруда, число Архимеда

Вопрос 4. При конвективном теплообмене при вынужденном продольном омывании жидкостью плоской пластины толщина теплового пограничного слоя может быть больше толщины гидродинамического пограничного слоя при:

1. $Pr < 1,0$	3. $Pr = 1,0$
2. $Pr > 1,0$	4. $Nu = 1,0$

Вопрос 5. При движении кипящей жидкости в вертикальных трубах различают следующие режимы течения:

1. Ламинарный, турбулентный, вязкостно-гравитационный	3. Вязкостный, переходный, дисперсно-кольцевой
2. Пузырьковый, волновой, турбулентный	4. Снарядный, дисперсно-кольцевой, кольцевой

Вопрос 6. Расходным массовым паросодержанием двухфазного парожидкостного потока двигающегося в вертикальном канале называют:

1. Отношение массового расхода пара в данном сечении трубы к массовому расходу парожидкостной смеси	3. Отношение объёмного расхода пара в данном сечении трубы к объёмному расходу парожидкостной смеси
2. Отношение площади поперечного сечения занятого паром к полной площади поперечного сечения канала	4. Произведение объёмного расхода парожидкостной смеси в данном сечении на её массовую скорость

Вопрос 7. Потеря давления при вынужденном движении жидкости в канале круглого сечения зависит от скорости движения жидкости в трубе

1. $\Delta P \sim \frac{1}{W}$	3. $\Delta P \sim \frac{1}{W^2}$
2. $\Delta P \sim W^2$	4. $\Delta P \sim W$

Вопрос 8. Толщина гидродинамического пограничного слоя при ламинарном движении жидкости вдоль плоской пластины зависит от числа Рейнольдса:

1. $\delta \sim \frac{1}{Re_x}$	3. $\delta \sim Re^{0,5}$
2. $\delta \sim \frac{1}{\sqrt{Re_x}}$	4. $\delta \sim \frac{1}{Re_x^{0,2}}$

Вопрос 9. Коэффициент теплоотдачи при вынужденном движении кипящей жидкости в трубе α при $\alpha_k/\alpha_w < 0,5$ определяется по формуле (где α_k – коэффициент теплоотдачи при пузырьковом кипении в большом объёме, α_w - коэффициент теплоотдачи при турбулентном течении жидкости в трубе):

1. $\alpha = \alpha_w \frac{4\alpha_w + \alpha_k}{5\alpha_w - \alpha_k}$	3. $\alpha = \alpha_w$
2. $\alpha = \alpha_k$	4. $\alpha = 0,5(\alpha_w + \alpha_k)$

Вопрос 10. Наибольшее влияние на коэффициент теплоотдачи при плёночной конденсации пара на поверхности трубы оказывают (возможны два правильных ответа):

1. Содержание в паре неконденсирующихся газов	3. Скорость охлаждающей воды внутри трубы
2. Материал трубы	4. Давление и температура пара

Приложение № 2

**ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

Лабораторная работа №1. Экспериментальное определение параметрической зависимости коэффициента теплопередачи модели теплообменного аппарата типа «труба в трубе»

Задание по лабораторной работе:

1. На модели водо-водяного теплообменного аппарата типа «труба в трубе» установить экспериментальным методом параметрическую зависимость коэффициента теплопередачи от водяных эквивалентов теплоносителей для схем «противоток» и «прямоток».
2. Провести сопоставление экспериментально полученных значений коэффициента теплопередачи с теоретическими значениями, рассчитанными на основании теории подобия.
3. Определить потери напора в контуре горячего и холодного теплоносителя теплообменного аппарата типа «труба в трубе» для схемы движения «противоток».

Контрольные вопросы:

1. Какие преимущества имеет схема движения теплоносителей «прямоток» по сравнению со схемой «противоток»? При каких условиях работы водяного теплообменного аппарата эти преимущества не реализуются?
2. Что такое «водяной эквивалент»? Как влияет величина «водяного эквивалента» холодного и горячего теплоносителей на коэффициент теплопередачи теплообменного аппарата?
3. Что влияет в большей степени на интенсивность теплообмена в теплообменном аппарате типа «труба в трубе» при движении теплоносителей по схемам «прямоток» и «противоток»? Какие дальнейшие пути интенсификации теплообмена могут быть применены в теплообменном аппарате типа «труба в трубе»?
4. Как определяется гидравлическое сопротивление контуров холодного и горячего теплоносителей в рекуперативном теплообменном аппарате? Какая связь имеется между интенсивностью теплообмена в рекуперативном теплообменном аппарате и его гидравлическим сопротивлением?

Лабораторная работа № 2. Определение коэффициента теплопередачи при вынужденном ламинарном движении жидкости в гладкой трубе

Задание по лабораторной работе:

1. Экспериментальным путём определить:
- коэффициент теплоотдачи от жидкости к внутренней поверхности гладкой трубы;

- коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности трубы в результате конвективного теплообмена к воздуху;

- коэффициент теплопередачи от горячей воды двигающейся ламинарно внутри гладкой трубы к воздуху в лаборатории.

2. По экспериментальным данным получить уравнения подобия для теплоотдачи от жидкости к внутренней поверхности гладкой трубы при ламинарном движении теплоносителя и для конвективного теплообмена около горизонтальной трубы.

3. Провести сопоставление экспериментально полученных значений коэффициента теплоотдачи с теоретическими значениями, рассчитанными на основании теории подобия.

Контрольные вопросы:

1. Приведите вид уравнений подобия теплоотдачи при вязкостном и вязкостно-гравитационных режимах при ламинарном движении жидкости внутри труб. Какие критерии подобия определяют теплоотдачу при этих условиях?

2. Приведите вид уравнений подобия теплоотдачи при конвективном теплообмене около горизонтальных и вертикальных труб. Какие критерии подобия определяют теплоотдачу при этих условиях?

3. Как определить коэффициент теплопередачи от горячей воды двигающейся ламинарно внутри гладкой трубы к воздуху в лаборатории?

4. Как определить потерю напора при ламинарном движении теплоносителя внутри гладкой трубы?

Лабораторная работа № 3. Определение коэффициента теплопередачи при вынужденном ламинарном движении жидкости в оребренной трубе.

Задание по лабораторной работе:

1. Экспериментальным путём определить:

- коэффициент теплоотдачи от жидкости к внутренней поверхности гладкой трубы;

- коэффициент теплоотдачи от наружной оребренной поверхности трубы в результате конвективного теплообмена к воздуху;

- коэффициент теплопередачи от горячей воды двигающейся ламинарно внутри оребренной трубы к воздуху в лаборатории.

2. По экспериментальным данным получить уравнение подобия для теплоотдачи от жидкости к внутренней поверхности гладкой трубы при ламинарном движении теплоносителя.

3. Провести сопоставление экспериментально полученного уравнения подобия теплоотдачи при ламинарном движении жидкости внутри трубы с теоретическими уравнениями теории подобия.

Контрольные вопросы:

1. Какие способы интенсификации конвективного теплообмена вам известны?
2. Какие виды наружного оребрения труб применяются теплообменных аппаратах?
3. Как рассчитать количество теплоты, передаваемое с поверхности круглого ребра?
4. Как рассчитать количество теплоты, передаваемое с поверхности треугольного и прямоугольного ребра?
5. Как определить количество теплоты, передаваемое воздуху трубой имеющей наружное оребрение?
6. Что такое искусственная шероховатость? Как определить коэффициент теплоотдачи от жидкости к внутренней поверхности шероховатой трубы? Как выбираются оптимальные размеры искусственной шероховатости?

Приложение № 3

ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

Задача 1

Плоская пластина длиной $l = 2$ м и шириной $b = 1,5$ м обдувается воздухом со средней скоростью W , м/с. Средняя температура набегающего воздуха $t_{ж}$, °С, средняя температура стенки $t_{ст} = 90$ °С. Определить:

- средний коэффициент теплоотдачи α и количество теплоты, передаваемое пластине Q ,
- толщину пограничного гидродинамического слоя δ в точке перехода ламинарного режима движения в турбулентный

Задача 2

Котельный, коридорный пучок трубок (наружный диаметр труб $d = 70$ мм, поперечный и продольный шаги равны $S_1 = S_2 = 190$ мм, длина трубок $l = 2,75$ м, количество труб в пучке $n = 500$ шт.) омывается продольным потоком дымовых газов. Средние температуры газов и стенки трубок соответственно равны $t_{ж} = 750$ °С и $t_{ст}$ °С. Средняя скорость газов в пучке равна W , м/с. Известны теплофизические свойства газов:

- кинематическая вязкость $\nu = 122 \times 10^{-7}$ м²/с,
- коэффициент теплопроводности $\lambda = 8,71 \times 10^{-2}$ Вт/(м К),
- Число Прандтля $Pr = 0,6$.

Определить средний коэффициент теплоотдачи α и количество теплоты, передаваемое газами пучку труб Q .

Задача 3

В трубе внутренним диаметром $d = 60$ мм движется кипящая вода со скоростью W , м/с при давлении P , МПа. Температурный напор между стенкой трубы и кипящей водой составляет $\Delta t = 3$ °С. Определить средний коэффициент теплоотдачи при кипении воды α .

Задача 4

Вычислить средний коэффициент теплоотдачи α и количество сухого насыщенного пара G , кг/ч, которое конденсируется на поверхности вертикальной трубы диаметром $d = 20$ мм и длиной $l = 2,5$ м, если известны:

- давление пара вдали от трубы P , кПа,
- температурный напор между паром и стенкой трубы $\Delta t = 5$ °С.

Задача 5

Вычислить средний коэффициент теплоотдачи от движущегося потока пара к трубе

горизонтального пучка труб, если известны:

- наружный диаметр трубок $d = 20$ мм,
- средняя скорость движущегося потока пара W , м/с,
- давление пара P , кПа.
- температурный напор между паром и стенкой трубы Δt , °С.

Варианты задач представлены в таблицах П.1 и П.2, варианты контрольных вопросов – в таблице П.3.

Таблица П.1 – Варианты 1-10 задач контрольной работы

Номера задач	Обозначение величины	Номера вариантов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	W , м/с	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
	$t_{ж}$, °С	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25
2	W , м/с	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
	$t_{ст}$, °С	245	240	235	230	225	220	215	210	205	200
3	W , м/с	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
4	P , кПа	620	610	600	590	700	690	680	670	660	650
5	W , м/с	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	P , кПа	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,00	13,0	14,0	15,0
	Δt , °С	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,00	13,0	14,0	15,0

Таблица П.2 – Варианты 10-20 задач контрольной работы

Номера задач	Обозначение величины	Номера вариантов									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	W , м/с	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5
	$t_{ж}$, °С	29	28	27	26	25	30	34	33	32	31
2	W , м/с	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
	$t_{ст}$, °С	245	240	235	230	225	220	215	210	205	200
3	W , м/с	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,9	1,8	1,7	1,6	1,0
4	P , кПа	690	680	670	660	650	620	610	600	590	700
5	W , м/с	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15
	P , кПа	11,0	12,00	13,0	14,0	15,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
	Δt , °С	11,0	12,00	13,0	14,0	15,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0

Таблица П.3 – Варианты вопросов контрольной работы

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номера вопросов	6, 27	13, 21	14, 22	18, 24	15, 25	11, 20	9, 21	4, 16	5, 12	7, 13
Номер варианта	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номера вопросов	8, 17	10, 23	12, 28	17, 26	19, 27	22, 31	25, 30	28, 29	1, 3	2, 13

Приложение № 4

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, КОТОРЫЕ ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ МОГУТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАНЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Дифференциальное уравнение энергии.
2. Дифференциальное уравнение движения.
3. Дифференциальное уравнение сплошности. Математическая формулировка задачи конвективного теплообмена. Условия однозначности.
4. Особенности течения и переноса теплоты в пристенном слое жидкости. Параметр Кнудсена. Гипотеза «прилипания» Прандтля. Уравнение теплоотдачи. Гидродинамический пограничный слой.
5. Дифференциальные уравнения движения и сплошности для пограничного слоя.
6. Понятие о тепловом пограничном слое. Уравнение энергии для пограничного слоя.
7. Турбулентный перенос теплоты и количества движения. Пульсационные скорости и температуры.
8. Дифференциальные уравнения энергии, движения, сплошности с учетом турбулентных переносов.
9. Теплоотдача при вынужденном продольном обтекании плоской пластины. Теплоотдача при ламинарном пограничном слое. Гидродинамика процесса. Учет температурного фактора. Средний и локальный коэффициенты теплоотдачи.
10. Теплоотдача при вынужденном турбулентном продольном обтекании плоской пластины. Гидродинамика процесса. Переход ламинарного течения в турбулентное. Критические числа Рейнольдса. Степень турбулентности. Расчет теплоотдачи.
11. Гидравлическое сопротивление при течении жидкости в трубе.
12. Расчет теплоотдачи при вынужденном продольном омывании коридорных и шахматных пучков труб.
13. Гидравлическое сопротивление при вынужденном обтекании пучков труб.
14. Кривая кипения однокомпонентных жидкостей. Кризисы кипения. Теплообмен при пленочном и пузырьковом кипении в свободном объеме.
15. Режимы движения пароводяной смеси в вертикальной трубе. Расходные и истинные параметры двухфазного потока в вертикальных трубах.

16. Уравнения движения двухфазного потока. Числа подобия характеризующие гидродинамику двухфазного потока.
17. Гидравлические сопротивления при движении двухфазного потока в вертикальных трубах.
18. Расчет теплоотдачи при движении в трубе кипящей жидкости недогретой до температуры насыщения. Теплоотдача насыщенной жидкости.
19. Гидродинамика жидких пленок.
20. Теплоотдача при кольцевом режиме течения парожидкостной смеси. Кризисы теплоотдачи при кипении в трубах
21. Теплообмен при конденсации пара, основные положения. Термическое сопротивление теплоотдаче. Режимы конденсации. Расчет теплоотдачи при ламинарном режиме движения пленки на горизонтальной трубе.
22. Теплообмен при пленочной конденсации чистого неподвижного пара и ламинарном режиме движения пленки на вертикальной стенке.
23. Теплообмен при пленочной конденсации чистого неподвижного пара и турбулентном режиме движения пленки на вертикальной стенке. Факторы влияющие на теплоотдачу.
24. Расчет теплоотдачи при конденсации движущегося потока пара на пучке горизонтальных труб.
25. Схемы движения теплоносителей в теплообменных аппаратах с перекрестным током. Конструкторский расчет схемы с перекрестным током.
26. Расчет гидравлических потерь в теплообменных аппаратах. Расчет мощности, необходимой для перемещения теплоносителей.
27. Расчет регенеративных теплообменных аппаратов.
28. Особенности расчета теплообмена при движении жидкометаллических теплоносителей.
29. Теплообмен при капельной конденсации пара. Кризис капельной конденсации.
30. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании одиночной трубы. Гидродинамика процесса при ламинарном и турбулентном течении. Локальный и средний коэффициенты теплоотдачи.
31. Теплообмен при около и сверхкритических параметрах рабочего тела.