

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Утверждено на заседании  
Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Протокол от 28.08.2023 № 23.8

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**по дисциплине**

**Гидродинамика и теплообмен в ядерных энергетических установках /  
Hydrodynamics and Heat Transfer in Nuclear Power Plants**

---

*название дисциплины*

для бакалавров направления подготовки

14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

---

Nuclear Technologies

---

Форма обучения: очная

г. Обнинск 2023 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение. Цели и задачи освоения дисциплины
2. Фонд оценочных средств для текущей и промежуточной аттестации
3. Контрольные вопросы по дисциплине «Тепломассообмен в ядерных энергетических установках» .....
4. Перечень практических задач по дисциплине «Тепломассообмен в ядерных энергетических установках» .....

### Область применения

Фонд оценочных средств (ФОС) – является неотъемлемой частью учебно-методического комплекса учебной дисциплины «Тепломассообмен в энергетическом оборудовании» и предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу данной дисциплины.

### Цели и задачи фонда оценочных средств

Целью Фонда оценочных средств является установление соответствия уровня подготовки обучающихся требованиям федерального государственного образовательного стандарта.

Для достижения поставленной цели Фондом оценочных средств по дисциплине «Тепломассообмен в энергетическом оборудовании» решаются следующие задачи:

- контроль и управление процессом приобретения обучающимися знаний, умений и навыков предусмотренных в рамках данного курса;
- контроль и оценка степени освоения компетенций предусмотренных в рамках данного курса;
- обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс в рамках данного курса.

### 1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

#### 1.1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения ОП обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенций	Результаты освоения ООП	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ПК-1	способность к участию в разработке методов прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик	Знать: <ul style="list-style-type: none"><li>• основные принципы тепломассообмена и методы математического моделирования тепломассообменных процессов и установок;</li><li>• методики расчета процессов теплопроводности, конвективного тепломассообмена, радиационного теплообмена в элементах конструкций;</li><li>• методики расчета теплообменных</li></ul>
ПК-5	способность к участию в	

	<p>проектировании основного оборудования атомных электростанций, термоядерных реакторов, плазменных и других энергетических установок с учетом экологических требований и обеспечения безопасной работы</p>	<p>аппаратов, принципы и методы интенсификации теплопередачи;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные источники научно-технической информации о новых разработках в области тепломассообмена и о теплофизических свойствах теплоносителей.</li> </ul> <p style="text-align: center;">Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• разрабатывать компьютерные модели теплогидравлических процессов и выполнять численные эксперименты;</li> <li>• самостоятельно анализировать процессы тепломассообмена и принимать оптимальные решения при конструировании и эксплуатации оборудования энергетических установок;</li> </ul> <p style="text-align: center;">Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками проведения научно-технических докладов, участия в профессиональной дискуссии ;</li> <li>• использованием информационно-компьютерных технологий, применяемыми в дисциплине для повышения квалификации, получения профессиональной информации, компьютерного моделирования в математических пакетах и обработки данных.</li> </ul>
--	---	--

### **1.2. Этапы формирования компетенций в процессе освоения ОП**

Компоненты компетенций, как правило, формируются при изучении нескольких дисциплин, а также в немалой степени в процессе прохождения практик, НИР и во время самостоятельной работы обучающегося. Выполнение и защита ВКР являются видом учебной деятельности, который завершает процесс формирования компетенций.

Место дисциплины и соответствующий этап формирования компетенций в целостном процессе подготовки по образовательной программе можно определить по матрице компетенций, которая приводится в Приложении.

Этапы формирования компетенции в процессе освоения дисциплины:

- **начальный** этап – на этом этапе формируются знаниевые и инструментальные основы компетенции, осваиваются основные категории, формируются базовые умения. Студент воспроизводит термины, факты, методы, понятия, принципы и правила; решает учебные задачи по образцу;

- **основной** этап – знания, умения, навыки, обеспечивающие формирование компетенции, значительно возрастают, но еще не достигают итоговых значений. На этом этапе студент осваивает аналитические действия с предметными знаниями по дисциплине, способен самостоятельно решать учебные задачи, внося коррективы в алгоритм действий, осуществляя коррекцию в ходе работы, переносит знания и умения на новые условия;

- **завершающий** этап – на этом этапе студент достигает итоговых показателей по заявленной компетенции, то есть осваивает весь необходимый объем знаний, овладевает всеми умениями и навыками в сфере заявленной компетенции. Он способен использовать эти знания, умения, навыки при решении задач повышенной сложности и в нестандартных условиях.

Этапы формирования компетенций в ходе освоения дисциплины отражаются в тематическом плане (см.п. 4 рабочей программы дисциплины).

### 1.3. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части) / и ее формулировка	Наименование оценочного средства
<b>Текущий контроль, 6 семестр</b>			
1.	Стационарная теплопроводность без внутренних источников тепла	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа, компьютерный тест
2.	Стационарная теплопроводность с внутренним тепловыделением	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, компьютерный тест.
3	Нестационарная теплопроводность	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа, компьютерный тест
4	Теория теплового подобия	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, компьютерный тест
5	Теплообмен при вынужденной конвекции	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа, компьютерный тест.
6	Теплообмен при свободной конвекции	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа, компьютерный тест
<b>Промежуточный контроль, 6 семестр</b>			
	зачет	ПК-1, ПК-5	Задания для зачета
Всего:			
<b>Текущий контроль, 7 семестр</b>			
1.	Теплообмен при конденсации	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, компьютерный тест
2.	Теплообмен при кипении	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, компьютерный тест
3	Теплообмен излучением	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа,
4	Основы расчета теплообменных аппаратов	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа,
<b>Промежуточный контроль, 7 семестр</b>			
	экзамен	ПК-1, ПК-5	Экзаменационные билеты, фонд экзаменационных

			задач
--	--	--	-------

Таблица 1 - Общая трудоемкость, виды занятий, форма аттестации

Семестр	Общая трудоемкость, часов (ЗЕТ)	Лекции, часов	Лабораторные работы, часов	Практические занятия, часов	СРС, часов
<b>Очная форма обучения</b>					
Форма аттестации: зачет (5 семестр), экзамен (6 семестр)					
5	216/86	16	-	16	40
6		16	16	16	60

## 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Конечными результатами освоения программы дисциплины являются сформированные когнитивные дескрипторы «знать», «уметь», «владеть», расписанные по отдельным компетенциям, которые приведены в п.1.1. Формирование этих дескрипторов происходит в процессе изучения дисциплины по этапам в рамках различного вида учебных занятий и самостоятельной работы.

Выделяются три уровня сформированности компетенций на каждом этапе: пороговый, продвинутый и высокий.

Уровни	Содержательное описание уровня	Основные признаки выделения уровня	БРС, % освоения	ECTS/Пятибалльная шкала для оценки экзамена/зачета
<b>Высокий</b> <i>Все виды компетенций сформированы на высоком уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Творческая деятельность	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент демонстрирует свободное обладание компетенциями, способен применить их в нестандартных ситуациях: показывает умение самостоятельно принимать решение, решать проблему/задачу теоретического или прикладного характера на основе изученных методов, приемов, технологий	90-100	A/ Отлично/ Зачтено
<b>Продвинутый</b> <i>Все виды компетенций сформированы на продвинутом уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>	Применение знаний и умений в более широких контекстах учебной и профессиональной деятельности, нежели по образцу, большей долей самостоятельности и инициативы	<i>Включает нижестоящий уровень.</i> Студент может доказать владение компетенциями: демонстрирует способность собирать, систематизировать, анализировать и грамотно использовать информацию из самостоятельно найденных теоретических источников и иллюстрировать ими теоретические положения или обосновывать практику применения.	85-89	B/ Очень хорошо/ Зачтено
			75-84	C/ Хорошо/ Зачтено
<b>Пороговый</b> <i>Все виды компетенций сформированы на пороговом уровне</i>	Репродуктивная деятельность	Студент демонстрирует владение компетенциями в стандартных ситуациях: излагает в пределах задач курса теоретически и практически контролируемый материал.	65-74	D/Удовлетворительно/ Зачтено
			60-64	E/Посредственно /Зачтено
<b>Ниже порогового</b>	Отсутствие признаков порогового уровня: компетенции не сформированы. Студент не в состоянии продемонстрировать обладание компетенциями в стандартных ситуациях.		0-59	Неудовлетворительно/ Зачтено

Оценивание результатов обучения студентов по дисциплине осуществляется по регламенту текущего контроля и промежуточной аттестации.

Критерии оценивания компетенций на каждом этапе изучения дисциплины для каждого вида оценочного средства и приводятся в п. 4 ФОС. Итоговый уровень сформированности компетенции при изучении дисциплины определяется по таблице. При этом следует понимать, что граница между уровнями для конкретных результатов освоения образовательной программы может смещаться.

Уровень сформированности компетенции	Текущий контроль	Промежуточная аттестация
высокий	<b>высокий</b>	<b>высокий</b>
	<i>продвинутый</i>	<i>высокий</i>
	<i>высокий</i>	<i>продвинутый</i>
продвинутый	<i>пороговый</i>	<i>высокий</i>
	<i>высокий</i>	<i>пороговый</i>
	<b>продвинутый</b>	<b>продвинутый</b>
	<i>продвинутый</i>	<i>пороговый</i>
	<i>пороговый</i>	<i>продвинутый</i>
пороговый	<b>пороговый</b>	<b>пороговый</b>
ниже порогового	<b>пороговый</b>	<b>ниже порогового</b>
	<b>ниже порогового</b>	-

### 3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков или опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы студентов.

Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

Текущий контроль осуществляется два раза в семестр: контрольная точка № 1 (КТ № 1) и контрольная точка № 2 (КТ № 2).

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Вид контроля	Этап рейтинговой системы Оценочное средство	Балл	
		Минимум	Максимум
Текущий	Контрольная точка № 1 Коллоквиум	10	20
	Контрольная точка № 2 Индивидуальное домашнее задание	15	20
	Контрольная точка № 3 Компьютерное тестирование	10	20
	Промежуточный Зачет	25	40
<b>ИТОГО за 6 семестр</b>		60	100

Вид контроля	Этап рейтинговой системы Оценочное средство	Балл	
		Минимум	Максимум

<b>Текущий</b>	<b>Контрольная точка № 1</b> <b>Компьютерное тестирование</b>	10	20
	<b>Контрольная точка № 2</b> <b>Лабораторные работы</b>	10	20
	<b>Контрольная точка № 3</b> <b>Индивидуальное домашнее задание</b>	15	20
<b>Промежуточный</b>	<b>Экзамен</b>	25	40
<b>ИТОГО за 7 семестр</b>		60	100

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

15-20 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который :

- владеет методологией данной дисциплины, знает определения основных понятий;
- полно раскрывает содержание теоретических вопросов билета;
- умеет увязать теорию и практику при решении задач.

8-14 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- Сделал все, что требуется для получения оценки «отлично», однако при этом допустил незначительные неточности при изложении материала, не искажающие содержание ответа по существу вопроса.

1-7 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- владеет методологией данной дисциплины, знает определения основных понятий;
- раскрывает содержание не всех теоретических вопросов
- не всегда умеет увязать теорию и практику при решении задач;
- выполнил одну из двух задач в индивидуальной работе.

0 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- имеет пробелы в знаниях основного учебного материала по дисциплине, не может дать четкого определения основных понятий;
- не умеет решать задачи и не может разобраться в конкретной ситуации;
- не может успешно продолжать дальнейшее обучение в связи с недостаточным объемом знаний.

в) описание шкалы оценивания:

Максимальная сумма баллов семестровой аттестации (зачета) – 40 баллов.

В билет по зачету входит 2 вопроса и задача:

1. на оценку умения анализировать термодинамические (технические) процессы и алгоритмы расчета с целью обеспечения их эффективной и безопасной работы (ПК-11)

Максимальная сумма баллов -20 баллов

2. на оценку умения проводить термодинамические расчеты оборудования ЯЭУ в стационарных и нестационарных режимах работы (ПК-13). Максимальная сумма баллов -20 баллов

#### 4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков

##### Вопросы к зачету

Тема: Теплопроводность

- T1. Как направлен градиент температуры по отношению к изотермической поверхности?
- T2. Размерность коэффициента теплопроводности...
- T3. Плотность теплового потока на поверхности в стационарных условиях равна...
- T4. Размерность коэффициента температуропроводности...
- T5. Минус в записи закона теплопроводности Фурье означает, что
- T6. Закон теплопроводности Фурье вытекает из...
- T7. Какая скорость распространения тепла предполагается в гипотезе Фурье?
- T8. Влияет ли теплоемкость тела на процесс теплопроводности в твердом теле при стационарных условиях?
- T9. Верно ли, что размерности плотности теплового потока и объемной мощности внутренних источников тепла совпадают?
- T10. Верно ли, что объемная мощность источников тепла равна дивергенции потока тепла?
- T11. Верно ли, что перепад температур и термическое сопротивление плоской стенки прямо пропорциональны?
- T12. Термическое сопротивление цилиндрической стенки ( $d_2 > d_1$ ) ...
- T13. Термическое сопротивление плоской стенки ....
- T14. Термическое сопротивление теплопередачи между жидкостями, разделенными стенкой...
- T15. Если критический диаметр тепловой изоляции больше наружного диаметра цилиндрической стенки, то увеличение толщины тепловой изоляции неизменной температуре воздуха приведет к ...
- T16. При выборе материала для тепловой изоляции цилиндрической трубы соотношение между критическим диаметром тепловой изоляции  $d_{кр}$  и внешним диаметром трубы  $d_2$ ...
- T17. Критический диаметр тепловой изоляции рассчитывается, исходя из....
- T18. Зависит ли результат решения дифференциального уравнения теплопроводности от рода граничных условий?
- T19. Возможны ли граничные условия I рода на поверхности шара?
- T20. Теплообмен между кипящей водой и воздухом будет более эффективным, если сделать ребрение со стороны...
- T21. Верно ли, что коэффициент теплопроводности ребер на поверхности теплоотдающей стенки должен быть как можно меньше?
- T22. Распределение температуры в цилиндрическом топливном стержне при равномерном распределении внутренних источников тепла подчиняется...
- T23. Можно ли получить безразмерные формулы для расчета поля температуры при охлаждении тела из формул для нагрева тела, если изменить знак?
- T24. В цилиндрическом топливном стержне максимум температуры находится на оси. Как изменится положение максимума температуры, если на части периметра теплообмен ухудшится?
- T25. Распределение температуры в трехслойной плоской стенке показано на рисунке. Как соотносятся коэффициенты теплопроводности используемых материалов, если толщины слоев одинаковы?
- T26. Какое физическое свойство тела можно измерить с помощью регулярного режима?
- T27. Какова размерность темпа охлаждения?
- T28. Три тела: пластина толщиной  $2D$ , цилиндр и шар радиуса  $R$  ( $D=R$ ), выполненные из одного материала и имеющие одинаковую начальную температуру охлаждаются в среде с постоянной температурой. Какое из тел будет охлаждаться быстрее?

- Т29.** Расположите материалы: нержавеющая сталь, двуокись урана, воздух, алюминий, сталь 20, асбест, ртуть по мере возрастания коэффициента теплопроводности (температура  $\sim 20^\circ\text{C}$ )
- Т30.** Каково направление градиента температуры по отношению к изотермической поверхности? Могут ли изотермические поверхности быть замкнутыми?
- Т31.** Если критический диаметр тепловой цилиндрической стенки больше ее наружного диаметра, то как будет меняться тепловой поток через стенку при увеличении толщины тепловой изоляции? Температура окружающего воздуха остается постоянной.
- Т32.** В теплообменнике тепло передается от кипящей воды к воздуху через твердую стенку. Для увеличения интенсивности теплообмена предложено сделать ребрение. Ребрение стенки с какой стороны будет эффективнее?
- Т33.** Твэл представляется собой цилиндрического топливную таблетку, заключенную в оболочку из нержавеющей стали. Как изменится температура в центре твэла, если на некоторой части периметра контакт между топливом и оболочкой нарушится?
- Т34.** Может ли термическое сопротивление теплопередачи между жидкостями, разделенными твердой стенкой быть больше термического сопротивления твердой стенки?
- Т35.** Интенсивность охлаждения плоского твэла одинакова с обеих сторон. Как изменится температура одной поверхности твэла, если с противоположной стороны теплообмен ухудшится?
- Т36.** В плоской стенке при  $q = \text{const}$  распределение температуры подчиняется линейному закону, если коэффициент теплопроводности стенки не зависит от температуры ( $\lambda = \text{const}$ ). Как изменится распределение температуры в стенке, если  $\lambda = a + bt$  ( $a, b$  – положительные величины).
- Т37.** В цилиндрическом твэле максимум температуры находится на оси. Как изменится положение максимума, если на части периметра теплообмен ухудшится?
- Т38.** Плоский твэл омывается с двух сторон теплоносителями с разными температурами  $t_1$  и  $t_2 > t_1$ . Как изменится распределение температуры в твэле, если внутреннее тепловыделение  $q_v$  увеличится?
- Т39.** Как связаны перепады температур и термические сопротивления каждого слоя в многослойной плоской стенке?
- Т40.** Плоская стенка состоит из трех слоев одинаковой толщины, но изготовленных из разных материалов: изолятор, металл, изолятор. Каково распределение температуры в такой стенке?
- Т41.** Твэл состоит из топливной таблетки и оболочки, отделенной от таблетки слоем инертного газа. Наружная поверхность твэла омывается водой. Как изменится распределение температуры внутри твэла, если скорость течения воды увеличится?
- Т42.** Твэл состоит из топливной таблетки и оболочки, отделенной от таблетки слоем инертного газа. Наружная поверхность твэла омывается водой. Как изменится распределение температуры внутри твэла, если внутреннее тепловыделение  $q_v$  увеличится?
- Т43.** При каких числах Фурье реализуется регулярный режим охлаждения?
- Т44.** Можно ли, пользуясь диаграммами вида  $\Theta = \Phi(Fo, Bi)$  для цилиндра, определить температуру в любой точке цилиндра?
- Т45.** Можно ли определить значение температуры в любой точке твердого тела в любой момент времени из дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности?
- Т46.** Зависит ли от рода граничных условий результат решения дифференциального уравнения теплопроводности для тел одинаковой формы?
- Т47.** Как рассчитать теплопроводность материала, пользуясь методом регулярного режима?
- Т48.** Как изменяется во времени температура плоской пластины, охлаждаемой с двух сторон в среде с температурой  $t_{cp}$ , если известно, что критерий  $Bi > 100$ ?

- T49.** Как изменяется во времени температура плоской пластины, охлаждаемой с двух сторон в среде с температурой  $t_{cp}$ , если известно, что критерий  $Bi \sim 1$ ?
- T50.** Какие физические свойства среды содержат безразмерные числа Био и Фурье?
- T51.** Безразмерные критерии Био и Нуссельта записываются одинаково  $(\alpha d)/\lambda$ . Чем же они отличаются и каков их физический смысл?
- T52.** Как изменяется во времени температура плоской пластины, охлаждаемой с двух сторон в среде с температурой  $t_{cp}$ , если известно, что критерий  $Bi < 0,1$ ?
- T53.** Верно ли утверждение, что темп охлаждения тела не зависит от его линейных размеров? Если верно, то от чего зависит темп охлаждения тела?
- T54.** Можно ли получить безразмерные формулы для расчета поля температуры при охлаждении тела из формул, полученных для случая нагрева тела, просто изменив знак?
- T55.** Три пластины из разных материалов: стали, дерева и кафельной плитки находятся при одной и той же температуре  $20^\circ\text{C}$ . Почему, касаясь каждой из пластин рукой, температура которой  $36^\circ\text{C}$ , человек ощущает в одних случаях холод, в других тепло?

Тема: Конвективный теплообмен в однофазной среде

- K1.** Размерность коэффициента теплообмена....
- K2.** Размерность коэффициента кинематической вязкости....
- K3.** Коэффициент объемного расширения газов...
- K4.** Верно ли, что процесс конвективного теплообмена полностью описывается (если не учитывать граничные условия) дифференциальными уравнениями: энергии, движения, неразрывности и числом Рейнольдса?
- K5.** Коэффициент теплообмена входит в дифференциальное уравнение энергии. Верно ли это?
- K6.** Могут ли быть одинаковыми условия однозначности при нестационарной теплопроводности твердого тела и при конвективном теплообмене?
- K7.** При приведении граничного условия III рода к безразмерному виду появляется безразмерное число...
- K8.** Число Рейнольдса появляется при приведении к безразмерному виду...
- K9.** Число Грасгофа появляется при приведении к безразмерному виду...
- K10.** Ускорение силы тяжести входит в безразмерное число ...
- K11.** Какие одинаковые величины содержатся в числах Пекле и Рейнольдса?
- K12.** Число Прандтля содержит...
- K13.** Могут ли законы движения и теплообмена для несжимаемой жидкости применимы к газам?
- K14.** С увеличением скорости при турбулентном течении в трубе коэффициент теплообмена и гидравлическое сопротивление возрастают. В каком соотношении?
- K15.** Как изменяется коэффициент теплообмена по длине пластины, обтекаемой ламинарным потоком газа, при условии  $q = \text{const}$ ?
- K16.** К теплоносителям с числами Прандтля существенно меньше единицы ( $Pr \ll 1$ ) относятся...
- K17.** Верно ли, что в жидких металлах толщина гидродинамического пограничного слоя значительно превышает толщину теплового пограничного слоя ...
- K18.** Тепловой и гидродинамический пограничные слои совпадают при числе Прандтля....
- K19.** Как изменяется коэффициент теплообмена вдоль вертикальной пластины, если  $t_w > t_f$ , а течение предполагается ламинарным?
- K20.** Теплообмен в плоских прослойках может рассчитываться по формулам для теплопроводности в плоской стенке при числе Рэлея...
- K21.** При каком режиме свободного течения около вертикальных поверхностей наступает автомодельный режим теплообмена?
- K22.** Какой определяющий размер берется при расчете коэффициента теплообмена около вертикального цилиндра?

- К23.** При расчете теплообмена свободной конвекцией горизонтального цилиндра определяющий размер есть...
- К24.** При расчете теплообмена в слое газа, заключенного между двумя одинаковыми вертикальными пластинами какой размер выбирается в качестве определяющего?
- К25.** Верно ли, что при уменьшенной силе тяжести (например, в космическом полете) свободное движение около нагретых поверхностей слабее по сравнению с земными условиями...
- К26.** Характер движения воздуха и воды на вертикальной трубе радиатора комнатного отопления.
- К27.** Подобны ли по виду распределения температуры и скорости при свободном ламинарном движении около вертикальной пластины?
- К28.** Какие числа подобия кроме  $Nu$  входят в безразмерные формулы для расчета коэффициента теплообмена при турбулентном течении жидких металлов, воды и газов в трубе?
- К29.** Как зависит коэффициент теплообмена от скорости при ламинарном течении вдалеке от входа в трубу?
- К30.** Какое влияние оказывает свободное движение на коэффициент теплообмена, если направления свободного и вынужденного ламинарного течений совпадают.
- К31.** Какое влияние оказывает свободное движение на коэффициент теплообмена при турбулентном течении ( $Re > 10^4$ ) в трубе?
- К32.** Зависимость коэффициента теплообмена от скорости при турбулентном течении
- К33.** Зависимость числа Нуссельта от числа Рейнольдса при турбулентном течении воды и газов
- К34.** Зависимость числа Нуссельта от числа Пекле при турбулентном течении жидких металлов
- К35.** Какое влияние оказывает направление теплового потока (нагрев или охлаждение) на коэффициент теплообмена при турбулентном течении ГАЗОВ (ВОДЫ)?
- К36.** Как влияют граничные условия ( $t = \text{Const}$  или  $q = \text{Const}$ ) на коэффициент теплообмена при турбулентном течении воды, газов?
- К37.** Можно ли в расчетах коэффициента теплообмена при турбулентном течении в каналах некруглой формы применить безразмерные формулы, полученные для круглой трубы?
- К38.** При какой температуре выбираются теплофизические свойства теплоносителя для расчета теплообмена при турбулентном течении в каналах?
- К39.** Как влияют граничные условия ( $t = \text{Const}$  или  $q = \text{Const}$ ) на коэффициент теплообмена при ламинарном течении воды в круглой трубе?
- К40.** Одинаковы ли значения среднего и местного коэффициентов теплообмена за пределами участка термической стабилизации?
- К41.** Зависит ли коэффициент теплообмена при турбулентном течении в кольцевом канале от соотношения плотностей тепловых потоков на разных поверхностях?
- К42.** В каком соотношении находятся коэффициенты теплоотдачи в гладких ( $\alpha_g$ ) и шероховатых ( $\alpha_{ш}$ ) трубах при турбулентном течении?
- К43.** Гидравлический диаметр кольцевого канала  $d_2/d_1$  равен ...
- К44.** Что принимается за гидравлический диаметр при течении воздуха в канале, сечение которого представляет собой квадрат стороной «а»
- К45.** Гидравлический диаметр канала прямоугольной формы со сторонами «b» и «d» равен
- К46.** При каком значении числа Релея ( $Ra$ ) свободное движение воздуха между двумя вертикальными пластинами отсутствует?
- К47.** Верно ли утверждение, что режим течения при свободном движении теплоносителя определяется по числу Грасгофа ( $Gr$ )?
- К48.** Как соотносятся коэффициенты теплообмена первого и третьего рядов при поперечном обтекании пучка труб

- К49.** Верно ли утверждение, что угол отрыва турбулентного пограничного слоя при поперечном обтекании цилиндра больше, чем угол, при котором происходит отрыв ламинарного пограничного слоя?
- К50.** Интеграл Лайона – решение для стабилизированного теплообмена при турбулентном течении жидкости в круглой трубе. Как, пользуясь интегралом Лайона, рассчитать коэффициент теплообмена при ламинарном течении жидкости в круглой трубе?
- К51.** Слой газа расположен между двумя пластинами, температуры которых  $t_1 > t_2$ . Рассчитанный коэффициент конвекции  $\varepsilon_k = 3,5$ . Во сколько раз количество тепла, переносимое в слое за счет конвекции больше количества тепла, переносимого только теплопроводностью?
- К52.** При исследовании теплообмена в режиме вынужденного течения воды в круглой трубе диаметр трубы увеличили в 5 раз. Как изменится коэффициент теплообмена, если скорость течения теплоносителя осталась той же?
- К53.** Из физических представлений стало ясно, что определяемая величина в соотношении зависит от 5 параметров: скорости  $W$ , плотности  $\rho$ , вязкости  $\mu$ , диаметра  $d$ , длины канала  $l$ . Сколько безразмерных комплексов можно составить при приведении соотношения к безразмерному виду?
- К54.** Как зависит длина пути смешения от расстояния от стенки в теории пограничного слоя Прандтля?
- К55.** Известно, что при вынужденном движении воды в круглой трубе диаметром 20 мм толщина ламинарного подслоя в пограничном слое составляет 0.5 мм. Каково значение числа Нуссельта?

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

Оценивается полнота овладения теоретическими физиологическими знаниями и умение применять эти знания для описания процессов происходящих в биологических системах.

Критериями оценки является:

- 1) правильность, полнота и логичность построения ответа;
- 2) умение оперировать специальными терминами;
- 3) использование в ответе дополнительного материала;
- 4) умение иллюстрировать теоретические положения практическим материалом, приводить примеры;

в) описание шкалы оценивания:

Допуск к зачёту по дисциплине осуществляется при количестве баллов более 35. Зачёт студент получает при наборе общей суммы баллов свыше 60.

Оценку «зачтено» получают следующие студенты:

- отчитавшиеся о выполнении лабораторных работ за семестр;
- получившие положительную оценку за ответы во время устного опроса;
- получившие оценку «зачтено» за ответы на тестовые задания текущего контроля;
- давшие правильный (полный, логичный, с употреблением соответствующей терминологии и примерами) устный ответ на вопросы к зачету.

Оценку «не зачтено» получают следующие студенты:

- пропустившие лабораторные занятия без уважительной причины;
- не отчитавшиеся о выполнении лабораторных работ за семестр;
- получившие неудовлетворительные оценки за ответы во время устного опроса;

- давшие неполный, нелогичный устный ответ на вопросы к зачету, не владеющие соответствующей терминологией.

### 6.2.2. Вопросы к экзамену

#### 1. Вопросы, требующие подробного вывода

- 1.1. Дифференциальное уравнение теплопроводности (вывод). Условия однозначности. Граничные условия 1, 2, 3 рода.
- 1.2. Стационарное распределение температуры в плоской стенке без внутреннего тепловыделения при граничных условиях 3 рода (вывод).
- 1.3. Стационарное распределение температуры в плоской стенке с внутренним тепловыделением при граничных условиях 1 рода (вывод).
- 1.4. Стационарное распределение температуры в сплошном цилиндре с внутренним тепловыделением при граничных условиях 3 рода (вывод).
- 1.5. Стационарное распределение температуры в цилиндрической стенке с внутренним тепловыделением при граничных условиях 1 рода (вывод).
- 1.6. Стационарное распределение температуры в шаре с внутренним тепловыделением при граничных условиях 1 рода (вывод).
- 1.7. Критический диаметр тепловой изоляции (вывод).
- 1.8. Уравнение баланса тепла для элемента длины канала. Распределение температур в канале с тепловыделением (вывод).
- 1.9. Стационарное распределение температуры и тепловой поток в процессе теплопередачи через плоскую цилиндрическую стенку (вывод). Термическое сопротивление.
- 1.10. Стационарное распределение температуры и линейный тепловой поток в процессе теплопередачи через цилиндрическую стенку (вывод). Линейное термическое сопротивление.
- 1.11. Изменение температуры во времени при охлаждении (нагревании) тела с бесконечно малым термическим сопротивлением (вывод).
- 1.12. Средний логарифмический температурный напор в теплообменном аппарате (вывод).

#### 2. Коэффициенты и критерии

- 2.1. Коэффициент теплообмена, его физический смысл. Связь коэффициента теплообмена с толщиной теплового пограничного слоя.
- 2.2. Коэффициент теплопередачи, его размерность и физический смысл.
- 2.3. Термические сопротивления теплообмену и теплопередачи. Аналогия с законами электротехники.
- 2.4. Критерий Био, его физический смысл. Температурное поле в пластине при разных значениях критерия Био ( $Bi \rightarrow 0$ ,  $Bi \rightarrow \infty$ ,  $Bi \sim 1$ ).
- 2.5. Три класса теплоносителей в зависимости от значения числа Прандтля. Термическое сопротивление теплообмену и распределение температур в средах с различными числами Прандтля
- 2.6. Критерии Рейнольдса, Грасгофа, Прандтля и Нуссельта, определение этих критериев и физический смысл. Выбор определяющих размеров и определяющих температур.
- 2.7. Чем отличаются механизмы теплопроводности в газах, жидкостях и твердых телах?

### 3. Конвективный теплообмен в однофазной среде

- 3.1. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Запись условий однозначности.
- 3.2. Каковы особенности теплообмена при продольном обтекании пучков стержней по сравнению с течением в круглой трубе? Вид расчетных зависимостей.
- 3.3. Распределение температур в цилиндрическом твэле (с оболочкой и газовым зазором). Неравномерность температуры по периметру твэла в ТВС.
- 3.4. Каковы особенности теплообмена в жидких металлах? К чему приводит наличие контактного термического сопротивления?
- 3.5. Как рассчитывать коэффициент теплообмена при вынужденном течении жидкости в каналах?
- 3.6. Какие факторы вызывают свободное движение? Как движется среда вдоль вертикальной поверхности при условиях свободной конвекции?
- 3.7. Как осуществляется теплообмен при свободном движении среды в ограниченном пространстве (в прослойках)? Что такое эквивалентная теплопроводность?
- 3.8. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра. Условия отрыва пограничного слоя. Изменение коэффициента теплообмена по окружности.
- 3.9. Особенности теплообмена при ламинарном и турбулентном течениях. Пульсации скорости и температуры в турбулентном потоке. Осреднение скорости и температуры по сечению канала.
- 3.10. Изменение профилей скорости и температуры на гидродинамическом и тепловом начальном участке. Соотношения толщин гидродинамического и теплового пограничных слоев.
- 3.11. Аналогия между теплообменом и переносом количества движения - аналогия Рейнольдса. Полуэмпирические теории турбулентности - модели Прандтля и Кармана.

### 4. Двухфазные потоки

- 4.1. Какие режимы течения двухфазных потоков реализуются в вертикальных и горизонтальных трубах?
- 4.2. Виды кипения - пузырьковое, пленочное. Кризис теплообмена. Капиллярная постоянная.
- 4.3. Кипение в большом объеме. Кривая кипения как зависимость плотности теплового потока от температурного напора. Влияние давления, шероховатости, отложений на поверхности на вид кривой кипения.
- 4.4. В чем состоят основные положения гидродинамической теории кризиса теплообмена Кутателадзе С.С.?
- 4.5. Какие факторы влияют на критический тепловой поток в каналах?
- 4.6. Как меняются температура жидкости, температура стенки, паросодержание (массовое, балансное, истинное) по длине парогенерирующего канала?
- 4.7. Процессы теплообмена в различных зонах парогенерирующего канала (зона подогрева, поверхностного кипения, развитого кипения, высыхания пленки, кризиса, закризисная).
- 4.8. Как рассчитывать теплообмен при пузырьковом кипении воды в большом объеме?
- 4.9. Как рассчитать теплообмен при пленочной конденсации неподвижного сухого пара
- 4.10. Пленочная конденсация движущегося пара на вертикальной поверхности, влияние направления движения пара на коэффициент теплообмена.

## 5. Теплообмен излучением

- 5.1. Закон Стефана Больцмана для абсолютно черного и серого тел. Коэффициент излучения
- 5.2. Закон Стефана Больцмана для системы из двух тел, разделенных прозрачной средой. Приведенный коэффициент излучения.
- 5.3. Закон Планка теплового излучения абсолютно черного тела.
- 5.4. Закон Вина как частный случай закона Планка.
- 5.5. Закон Релея-Джинса как частный случай закона Планка.
- 5.6. Закон излучения Кирхгофа.
- 5.7. Теплообмен излучением между телами при наличии экранов.

## 6. Теплообмен в аппаратах

- 6.1. Какая схема движения теплоносителей в теплообменных аппаратах эффективнее: прямоток или противотока?
- 6.2. Как с помощью уравнений теплового баланса и теплопередачи рассчитать поверхность теплообменного аппарата?.
- 6.3. Расчет среднего логарифмического напора в теплообменнике сложной схемы (относительно противотока).
- 6.4. Схемы движения теплоносителей в теплообменных аппаратах. Сравнение прямотока и противотока.
- 6.5. Распределение энерговыделения в активной зоне реактора. Коэффициенты неравномерности по радиусу, высоте, объему.
- 6.6. Расчет распределения температуры в топливной таблетке тепловыделяющего элемента. Учет зависимости теплопроводности топлива от температуры. Интегральная теплопроводность.

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

15-20 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который :

- владеет методологией данной дисциплины, знает определения основных понятий;
- полно раскрывает содержание теоретических вопросов билета;
- умеет увязать теорию и практику при решении задач.

8-14 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- Сделал все, что требуется для получения оценки «отлично», однако при этом допустил незначительные неточности при изложении материала, не искажающие содержание ответа по существу вопроса.

1-7 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- владеет методологией данной дисциплины, знает определения основных понятий;
- раскрывает содержание не всех теоретических вопросов
- не всегда умеет увязать теорию и практику при решении задач;
- выполнил одну из двух задач в индивидуальной работе.

0 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- имеет пробелы в знаниях основного учебного материала по дисциплине, не может дать четкого определения основных понятий;
- не умеет решать задачи и не может разобраться в конкретной ситуации;
- не может успешно продолжать дальнейшее обучение в связи с недостаточным объемом знаний.

в) описание шкалы оценивания:

Максимальная сумма баллов семестровой аттестации (зачета) – 40 баллов.

В билет на экзамен входит 2 вопроса и задача:

**Пример экзаменационного билета**

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №\_\_**

1. Какие факторы влияют на критический тепловой поток при течении теплоносителя в каналах?
2. Как получить соотношение для расчета стационарного распределения температуры и линейного теплового потока в процессе теплопередачи через цилиндрическую стенку.
3. Задача

**Дано:** Круглый канал диаметром 0,5 м и длиной 40 м, по которому из печи выводятся газообразные продукты сгорания. Известно, что расход газа 1кг/с, падение температуры газа на длине канала составляет 10 °С, температура стенки канала постоянна и равна 500 °С, удельная теплоёмкость газа 1000 Дж/(кг·К).

**Найти:** Толщину изоляции [коэффициент теплопроводности изоляции  $\lambda=0,2$  Вт/(м·К)], обеспечивающую снижение температуры наружной стенки до 65 °С.

**Допущение:** Термическое сопротивление стенки канала мало по сравнению с термическим сопротивлением изоляции.

Составитель \_\_\_\_\_ Г.П.Богословская  
(подпись)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ И.А.Чусов  
(подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

## Критерии и шкала оценивания

Оценка	Критерии оценки
Отлично 36-40	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала;</li><li>- исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал;</li><li>- правильно формулировать определения;</li><li>- продемонстрировать умения самостоятельной работы с литературой;</li><li>- уметь сделать выводы по излагаемому материалу.</li></ul>
Хорошо 30-35	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать достаточно полное знание программного материала;</li><li>- продемонстрировать знание основных теоретических понятий; достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал;</li><li>- продемонстрировать умение ориентироваться в литературе;</li><li>- уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу.</li></ul>
Удовлетворительно 24-29	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать общее знание изучаемого материала;</li><li>- показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины;</li><li>- уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li><li>- знать основную рекомендуемую программой учебную литературу.</li></ul>
Неудовлетворительно 23 и меньше	Студент демонстрирует: <ul style="list-style-type: none"><li>- незнание значительной части программного материала;</li><li>- не владение понятийным аппаратом дисциплины;</li><li>- существенные ошибки при изложении учебного материала;</li><li>- неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li><li>- неумение делать выводы по излагаемому материалу.</li></ul>

## ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

### 1. Вопросы, требующие подробного вывода

- 1.1. Дифференциальное уравнение теплопроводности (вывод). Условия однозначности. Граничные условия 1, 2, 3 рода.
- 1.2. Стационарное распределение температуры в плоской стенке без внутреннего тепловыделения при граничных условиях 3 рода (вывод).
- 1.3. Стационарное распределение температуры в плоской стенке с внутренним тепловыделением при граничных условиях 1 рода (вывод).
- 1.4. Стационарное распределение температуры в сплошном цилиндре с внутренним тепловыделением при граничных условиях 3 рода (вывод).
- 1.5. Стационарное распределение температуры в цилиндрической стенке с внутренним тепловыделением при граничных условиях 1 рода (вывод).
- 1.6. Стационарное распределение температуры в шаре с внутренним тепловыделением при граничных условиях 1 рода (вывод).
- 1.7. Критический диаметр тепловой изоляции (вывод).
- 1.8. Уравнение баланса тепла для элемента длины канала. Распределение температур в канале с тепловыделением (вывод).
- 1.9. Стационарное распределение температуры и тепловой поток в процессе теплопередачи через плоскую цилиндрическую стенку (вывод). Термическое сопротивление.
- 1.10. Стационарное распределение температуры и линейный тепловой поток в процессе теплопередачи через цилиндрическую стенку (вывод). Линейное термическое сопротивление.
- 1.11. Изменение температуры во времени при охлаждении (нагревании) тела с бесконечно малым термическим сопротивлением (вывод).
- 1.12. Средний логарифмический температурный напор в теплообменном аппарате (вывод).

### 2. Коэффициенты и критерии

- 2.1. Коэффициент теплообмена, его физический смысл. Связь коэффициента теплообмена с толщиной теплового пограничного слоя.
- 2.2. Коэффициент теплопередачи, его размерность и физический смысл.
- 2.3. Термические сопротивления теплообмену и теплопередачи. Аналогия с законами электротехники.
- 2.4. Критерий Био, его физический смысл. Температурное поле в пластине при разных значениях критерия Био ( $Bi \rightarrow 0$ ,  $Bi \rightarrow \infty$ ,  $Bi \sim 1$ ).
- 2.5. Три класса теплоносителей в зависимости от значения числа Прандтля. Термическое сопротивление теплообмену и распределение температур в средах с различными числами Прандтля
- 2.6. Критерии Рейнольдса, Грасгофа, Прандтля и Нуссельта, определение этих критериев и физический смысл. Выбор определяющих размеров и определяющих температур.
- 2.7. Чем отличаются механизмы теплопроводности в газах, жидкостях и твердых телах?

### 3. Конвективный теплообмен в однофазной среде

- 3.1. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Запись условий однозначности.
  - 3.2. Каковы особенности теплообмена при продольном обтекании пучков стержней по сравнению с течением в круглой трубе? Вид расчетных зависимостей.
  - 3.3. Распределение температур в цилиндрическом твэле (с оболочкой и газовым зазором). Неравномерность температуры по периметру твэла в ТВС.
  - 3.4. Каковы особенности теплообмена в жидких металлах? К чему приводит наличие контактного термического сопротивления?
  - 3.5. Как рассчитывать коэффициент теплообмена при вынужденном течении жидкости в каналах?
  - 3.6. Какие факторы вызывают свободное движение? Как движется среда вдоль вертикальной поверхности при условиях свободной конвекции?
  - 3.7. Как осуществляется теплообмен при свободном движении среды в ограниченном пространстве (в прослойках)? Что такое эквивалентная теплопроводность?
  - 3.8. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра. Условия отрыва пограничного слоя. Изменение коэффициента теплообмена по окружности.
  - 3.9. Особенности теплообмена при ламинарном и турбулентном течениях. Пульсации скорости и температуры в турбулентном потоке. Осреднение скорости и температуры по сечению канала.
  - 3.10. Изменение профилей скорости и температуры на гидродинамическом и тепловом начальном участке. Соотношения толщин гидродинамического и теплового пограничных слоев.
  - 3.11. Аналогия между теплообменом и переносом количества движения - аналогия Рейнольдса. Полуэмпирические теории турбулентности - модели Прандтля и Кармана.
4. Двухфазные потоки
- 4.1. Какие режимы течения двухфазных потоков реализуются в вертикальных и горизонтальных трубах?
  - 4.2. Виды кипения - пузырьковое, пленочное. Кризис теплообмена. Капиллярная постоянная.
  - 4.3. Кипение в большом объеме. Кривая кипения как зависимость плотности теплового потока от температурного напора. Влияние давления, шероховатости, отложений на поверхности на вид кривой кипения.
  - 4.4. В чем состоят основные положения гидродинамической теории кризиса теплообмена Кутателадзе С.С.?
  - 4.5. Какие факторы влияют на критический тепловой поток в каналах?
  - 4.6. Как меняются температура жидкости, температура стенки, паросодержание (массовое, балансное, истинное) по длине парогенерирующего канала?
  - 4.7. Процессы теплообмена в различных зонах парогенерирующего канала (зона подогрева, поверхностного кипения, развитого кипения, высыхания пленки, кризиса, закризисная).
  - 4.8. Как рассчитывать теплообмен при пузырьковом кипении воды в большом объеме?
  - 4.9. Как рассчитать теплообмен при пленочной конденсации неподвижного сухого пара
  - 4.10. Пленочная конденсация движущегося пара на вертикальной поверхности, влияние направления движения пара на коэффициент теплообмена.
5. Теплообмен излучением

- 5.1. Закон Стефана Больцмана для абсолютно черного и серого тел. Коэффициент излучения
  - 5.2. Закон Стефана Больцмана для системы из двух тел, разделенных прозрачной средой. Приведенный коэффициент излучения.
  - 5.3. Закон Планка теплового излучения абсолютно черного тела.
  - 5.4. Закон Вина как частный случай закона Планка.
  - 5.5. Закон Релея-Джинса как частный случай закона Планка.
  - 5.6. Закон излучения Кирхгофа.
  - 5.7. Теплообмен излучением между телами при наличии экранов.
6. Теплообмен в аппаратах
- 6.1. Какая схема движения теплоносителей в теплообменных аппаратах эффективнее: прямоток или противотока?
  - 6.2. Как с помощью уравнений теплового баланса и теплопередачи рассчитать поверхность теплообменного аппарата?.
  - 6.3. Расчет среднего логарифмического напора в теплообменнике сложной схемы (относительно противотока).
  - 6.4. Схемы движения теплоносителей в теплообменных аппаратах. Сравнение прямотока и противотока.
  - 6.5. Распределение энерговыделения в активной зоне реактора. Коэффициенты неравномерности по радиусу, высоте, объему.
  - 6.6. Расчет распределения температуры в топливной таблетке тепловыделяющего элемента. Учет зависимости теплопроводности топлива от температуры. Интегральная теплопроводность.

## 7. Задачи

---

ОЯФиТ(О)

Кафедра теплофизики

Дисциплина: **Тепломассообмен в энергетическом оборудовании**

Семестр: VII

### **Задача 1.10.**

**Дано:** Стальной трубопровод холодильной установки диаметром 60 х 5 мм имеет двухслойную тепловую изоляцию: слой строительного войлока толщиной 20 мм ( $\lambda = 0,039$  Вт/(м·К)) и слой минеральной ваты толщиной 30 мм ( $\lambda = 0,07$  Вт/(м·К)). Коэффициент теплопроводности стали  $\lambda=45,6$  Вт/(м·К).

**Найти:** Долю каждого из изоляционных слоёв и стенки трубки (в %) в общем, изолирующем действии конструкции.

---

**Задача 1.11.**

**Дано:** Труба наружным диаметром 57 мм, которую необходимо покрыть двумя слоями тепловой изоляции: асбестом (толщина  $\delta_1=30$  мм, коэффициент теплопроводности  $\lambda_1=0,1163$  Вт/(м·К)) и минеральной шерстью ( $\delta_2=30$  мм,  $\lambda_2=0,058$  Вт/(м·К)). В какой последовательности следует располагать слои изоляционных материалов для получения лучшего эффекта?

**Задача 1.12.**

**Дано:** Круглый канал диаметром 0,5 м и длиной 40 м, по которому из печи выводятся газообразные продукты сгорания. Известно, что расход газа 1 кг/с, падение температуры газа на длине канала составляет 10 °С, температура стенки канала постоянна и равна 500 °С, удельная теплоёмкость газа 1000 Дж/(кг·К).

**Найти:** Толщину изоляции [коэффициент теплопроводности изоляции  $\lambda=0,2$  Вт/(м·К)], обеспечивающую снижение температуры наружной стенки до 65 °С.

**Допущение:** Термическое сопротивление стенки канала мало по сравнению с термическим сопротивлением изоляции

**Задача 1.13.**

**Дано:** Большая горизонтальная пластина из нержавеющей стали толщиной 5 см, которая омывается воздухом при температуре 120 °С. Температура верхней поверхности пластины поддерживается равной 250 °С. Коэффициент конвективной теплоотдачи равен 30 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Кроме того, верхняя поверхность теряет излучением в воздух 700 Вт/м<sup>2</sup>.

**Найти:** Установившуюся температуру нижней поверхности пластины.

**Задача 1.14.**

**Дано:** Латунную трубу змеевика теплообменного аппарата диаметром 38 × 2,5 мм, длиной 8,6 м, требуется заменить стальной диаметром 44,5 × 2,5 мм. Разность температур на поверхностях латунной трубы  $\Delta t_1 = 0,1$  °С, на поверхностях стальной  $\Delta t_2 = 0,21$  °С. Коэффициент теплопроводности латуни 102 Вт/м·К; стали 50,2 Вт/м·К.

**Найти:** Такую длину нового змеевика, чтобы общее количество передаваемого тепла осталось прежним.

**Задача 1.15.**

**Дано:** Аудитория, наружная стена которой выполнена из красного кирпича [коэффициент теплопроводности  $\lambda_k=0,77$  Вт/(мК)]. Стена имеет размеры: длина  $L = 8$  м, высота  $H = 4,5$  м, толщина  $\delta = 0,5$  м и на внутренней и наружной поверхностях покрыта штукатуркой, толщина слоев  $\delta_{ш.внутр} = \delta_{ш.наружн} = 10$  мм [коэффициент теплопроводности штукатурки  $\lambda_{шт}=1,2$  Вт/(мК)]. Температуры поверхностей  $t_{w1} = 12$  °С и  $t_{w2} = -15$  °С. (Окна условно отсутствуют.)

**Найти:** 1) Необходимую мощность радиаторов отопления аудитории

2) Глубину промерзания стены

**Задача 1.21.**

**Дано:** Стенка промышленной нагревательной печи, состоящая из трех слоев: первый слой — плотный шамотный кирпич толщиной  $\delta_1 = 250$  мм (коэффициент теплопроводности  $\lambda_1 = 1,06$  Вт/(мК)); второй слой — легковесный шамотный кирпич толщиной  $\delta_2 = 500$  мм (коэффициент теплопроводности  $\lambda_2 = 0,79$  Вт/(мК)). Третий слой — тепловая изоляция шлаковая вата (коэффициент теплопроводности  $\lambda_3 = 0,06$  Вт/(мК)). Максимальная температура в первом слое  $t_{w1} = 800$  °С, на внешней поверхности третьего слоя  $t_{w4} = 50$  °С. Температура воздуха в помещении  $t_{f2} = 30$  °С, а коэффициент теплообмена между слоем изоляции и воздухом в помещении  $\alpha_2 = 10$  Вт/(м<sup>2</sup>К).

**Задача 1.24.**

**Дано:** Стальная труба наружным диаметром  $d_2 = 50$  мм, толщиной  $\delta = 5$  мм, длиной  $l = 30$  м, по которой протекает вода со скоростью  $0,5$  м/с. Температура воды на входе в трубу  $t_{вх} = 200$  °С. Труба покрыта тепловой изоляцией с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{из} = 0,1$  Вт/(мК), толщиной  $100$  мм. Температура окружающего воздуха  $t_{ж2} = 0$  °С, коэффициенты теплообмена внутри трубы  $\alpha_1 = 4000$  Вт/(м<sup>2</sup>К), снаружи  $\alpha_2 = 20$  Вт/(м<sup>2</sup>К).

**Найти:** Температуру воды на выходе из трубы.

**Задача 1.31.**

**Дано:** Электропровод (диаметр  $d = 2$  мм, линейное электросопротивление  $R_{l\ эл} = 5,6 \cdot 10^{-3}$  Ом/м), через который пропускают ток  $I = 30$  А. Коэффициент теплоотдачи к окружающему воздуху ( $t_{ж} = 20$  °С) составляет  $12$  Вт/(м<sup>2</sup>К). Провод покрыт резиновой изоляцией толщиной  $1,5$  мм [ $\lambda_p = 0,16$  Вт/(мК)]

**Найти:** Температуру поверхности электропровода в двух случаях: 1) без изоляции и 2) с изоляцией при неизменных значениях тока, коэффициента теплоотдачи и температуры воздуха.

**Задача 1.34.**

**Дано:** Паропровод внешним диаметром  $d_2 = 30$  мм, на который для уменьшения тепловых потерь было решено наложить слой изоляции толщиной 20 мм.

**Найти:** Какие из перечисленных теплоизоляционных материалов следует использовать?

- 1) глина огнеупорная [ $\lambda_{\Gamma} = 1,04$  Вт/(мК)];
- 2) пеношамот [ $\lambda_{\Pi} = 0,28$  Вт/(мК)];
- 3) асбестовый шнур [ $\lambda_{\text{а.ш}} = 0,13$  Вт/(мК)];
- 4) асбестовая слюда [ $\lambda_{\text{а.с}} = 0,12$  Вт/(мК)];
- 5) минеральная вата [ $\lambda_{\text{м.в}} = 0,05$  Вт/(мК)]?

Сравнить тепловые потери с погонного метра оголенного и изолированного минеральной

**Задача 1.44.**

**Дано:** Нихромовый стержень диаметром  $d = 5$  мм и длиной  $l = 400$  мм, который находится в кипящей воде при давлении  $P = 6,18 \cdot 10^5$  Па, коэффициент теплоотдачи с его поверхности  $\alpha = 38\,000$  Вт/(м<sup>2</sup>К). Коэффициент теплопроводности нихрома  $\lambda = 15$  Вт/(мК), удельное электрическое сопротивление  $\rho_{\text{эл}} = 1,2 \cdot 10^{-6}$  Ом·м. Падение напряжения на стержне составляет  $\Delta U = 10$  В.

**Найти:** Мощность внутренних источников тепла, плотность теплового потока и линейную плотность теплового потока на поверхности стержня, температуры на его оси и поверхности.

**Задача 1.46.**

**Дано:** Цилиндрический урановый стержень [коэффициент теплопроводности  $\lambda = 30$  Вт/(мК)], который охлаждается в потоке воздуха температурой  $t_{\text{ж}} = 370$  °С, коэффициент теплоотдачи  $\alpha = 6500$  Вт/(м<sup>2</sup>К). Мощность внутренних источников тепла  $q_v = 8 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>3</sup>, а температура на поверхности охлаждаемого 650 °С.

**Найти:** Диаметр и перепад температур в стержне.

**Задача 2.1.**

**Дано:** Атмосферный воздух с температурой 10°С поступает в прямоугольный канал сечением 7,5×15 см и длиной 6 м. Все четыре поверхности этого канала поддерживаются при температуре 70°С.

**Найти:** При каком расходе воздуха его температура на выходе из канала будет на 20°С превышать его температуру на входе.

**Задача 2.2.**

**Дано:** Канал длиной 4 м имеет треугольное поперечное сечение с длиной стороны 3 см. Температура жидкого натрия на входе в канал 478 К, а его массовый расход 3,6 кг/с. Стенки канала поддерживаются изотермическими при температуре 525 К. и

**Найти:** Температуру натрия на выходе и тепловой поток к натрию.

**Указание:** Свойства натрия взять при его входной температуре.

**Задача 2.5.**

**Дано:** Лист стали толщиной 10 мм, находящийся при начальной температуре  $t_0 = 100$  °С. Физические свойства стали: коэффициент теплопроводности  $\lambda = 45$  Вт/(мК); плотность  $\rho = 7900$  кг/м<sup>3</sup>; удельная теплоемкость  $c_p = 0,46$  кДж/(кг·К).

**Найти:** Температуру листа через 1 минуту после начала охлаждения 1) в воздухе и 2) в воде  $t_{ж} = 20$  °С. Коэффициенты теплообмена для воздуха  $\alpha = 8$  Вт/(м<sup>2</sup>·К), для воды  $\alpha = 500$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

**Задача 2.9.**

**Дано:** Стальная стенка сопла реактивного двигателя, внутренняя поверхность которой покрыта слоем керамической изоляции толщиной 3 мм [коэффициент теплопроводности  $\lambda = 3$  Вт/(мК), коэффициент температуропроводности  $a = 1,5 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с]. Наружная поверхность теплоизолирована. Температура пламени составляет 2473 К. Начальная и максимально допустимая температуры стенки составляют 293 и 1473 К, соответственно. Коэффициент теплоотдачи от пламени к поверхности изоляции  $\alpha = 1600$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

**Найти:** Допустимую продолжительность горения топлива.

**Допущение:** Стенку считать плоской.

**Задача 2.10.**

**Дано:** Длинный стальной вал диаметром 120 мм, помещенный в печь с температурой газов  $t_{ж} = 800$  °С. Физические свойства стали: коэффициент теплопроводности  $\lambda = 42$  Вт/(мК); коэффициент температуропроводности  $a = 1,22 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с. Начальная температура вала  $t_0 = 30$  °С. В процессе нагревания вала коэффициент теплообмена  $\alpha = 140$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

**Найти:** Время, по истечении которого температура на оси вала станет равной 780 °С.

**Задача 3.5.**

**Дано:** Горизонтальный паропровод диаметром  $d = 0,3$  м и длиной  $l = 5$  м, температура поверхности которого мало отличается от температуры парожидкостной смеси, движущейся внутри и составляет  $t_c = 110$  °С. Для уменьшения тепловых потерь на паропровод наложена изоляция из асбеста (коэффициент теплопроводности  $\lambda = 1,14$  Вт/(мК), плотность  $\rho = 800$  кг/м<sup>3</sup>). Известно, что температура окружающего воздуха в помещении равна  $t_\infty = 30$ °С, и по условиям техники безопасности температура на поверхности изоляции не должна превышать 50 °С.

**Найти:** Толщину  $\delta_{из}$  и вес  $G$  тепловой изоляции, позволяющую уменьшить тепловые потери

**Задача 3.2.**

**Дано:** Плита с размерами  $a \times b = 3 \times 3$  м, температура теплоотдающей поверхности плиты  $t_c = 100$  °С, температура окружающего воздуха вдали от плиты  $t_\infty = 20$  °С.

**Найти:** При каком расположении плиты (горизонтальном или вертикальном) тепловой поток на поверхности будет больше.

**Допущение:** При горизонтальном расположении плиты теплоотдающая поверхность обращена вверх.

**Задача 3.10.**

**Дано:** Теплообменник, выполненный из горизонтальных труб с наружным диаметром  $d = 25$  мм, который используется для отопления помещения. Температура поверхности труб  $t_c = 65$  °С, а воздуха в помещении  $t_\infty = 25$  °С. Мощность теплообменника  $Q = 1$  кДж/с.

**Найти:** Необходимую длину горизонтальных труб.

**Задача 3.12.**

**Дано:** Сушильная камера, которая обогревается сухим насыщенным водяным паром, подаваемым под давлением  $p = 1,43 \cdot 10^5$  Па в горизонтальные трубы наружным диаметром  $d = 30$  мм и длиной  $l = 1,5$  м. Известно, что расход пара, отпускаемого на обогрев, составляет  $G = 1,89$  кг/ч.

**Найти:** Количество труб, необходимых для поддержания в камере температуры воздуха  $t_\infty = 80$  °С.

**Указание.** Термическими сопротивлениями от пара к внутренней поверхности трубы и теплопроводности в стенке трубы пренебречь.

**Задача 4.10.**

Вычислить среднюю плотность теплового потока на боковой поверхности вагона-холодильника при движении поезда со скоростью  $w_\infty = 80$  км/ч, если известно, что температура наружного воздуха  $t_\infty = 25$  °С, температура внутренней поверхности стенки вагона  $t_c = 0$  °С. Термическое сопротивление теплопроводности стенки вагона  $\delta/\lambda \approx 0,3$  м<sup>2</sup>·К/Вт, а длина стенки вагона  $l = 10$  м.

**Задача 4.17.**

**Дано:** Электронагреватель в виде трубы диаметром  $d = 15$  мм и длиной  $l = 1$  м обдувается поперечным потоком воздуха, температура которого  $t_\infty = 20$  °С. Мощность нагревателя  $Q = 523,4$  Вт, а температура стенки не должна превышать 150 °С.

**Найти:** Скорость движения воздуха

**Задача 5.10.**

**Дано:** Труба диаметром 32×6 мм в экономайзере парового котла. Давление воды равно 30 МПа, а ее температура и скорость на входе в экономайзер составляют соответственно 270 °С и 1,5 м/с. Температура на выходе из экономайзера равна 320 °С.

**Найти:** Коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к воде.

**Задача 5.12.**

**Дано:** Труба диаметром  $d = 20$  мм в которой нагревается воздух при постоянном тепловом потоке  $q_c = 2,5$  кВт/м<sup>2</sup> на стенке. Расход воздуха составляет  $G_e = 21,6$  кг/ч, а его температура на входе в трубу  $t_{ж.вх} = 20$  °С.

**Найти:** температуру внутренней поверхности трубы на расстоянии  $x = 800$  мм от входа.

**Задача 5.13.**

**Дано:** Температура стенки трубы ( $l/d = 100$ ) поддерживается постоянной при значении  $t_c = 80$  °С. По трубе протекает жидкость ( $Pr = 1$ ), температура которой на входе составляет  $t_{ж.вх} = 20$  °С, а скорость движения такова, что  $Re = 104$ .

**Найти:** Температуру жидкости на выходе из трубы.

**Задача 5.20.**

**Дано:** Средняя температура тепловыделяющего стержня диаметром 25 мм и длиной 2,5 м составляет 310 °С при постоянном тепловом потоке на поверхности. В кольцевом зазоре между стержнем и его оболочкой, имеющей диаметр  $d = 31$  мм, циркулирует охлаждающая вода (средняя температура  $t_{ж} = 270$  °С) со скоростью 2 м/с.

**Найти:** Мощность внутренних источников тепла тепловыделяющего стержня и температуру воды на входе в кольцевой зазор и выходе из него.

**Задача 6.3.**

**Дано:** По трубкам парогенератора АЭС внутренним диаметром 13,2 мм протекает теплоноситель (вода под давлением 13 МПа). Средняя температура воды  $t = 285$  °С. На наружной поверхности кипит вода (рабочее тело). Давление производимого пара  $p = 47 \cdot 10^5$  Па ( $t_s = 260$  °С). Скорость воды в трубках составляет 3 м/с. Известно, что сумма термических сопротивлений стенки трубы и оксидных пленок составляет  $8,95 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>·К/Вт.

**Найти:** Среднюю тепловую нагрузку  $q$  поверхности теплообмена.

**Задача 6.5.**

**Дано:** В лабораторной установке по изучению теплоотдачи при кипении воды в большом объеме по тонкостенной горизонтальной трубке из нержавеющей стали пропускается электрический ток  $I = 100$  А. Вода находится при атмосферном давлении. Наружный диаметр трубки  $d = 8$  мм, а ее длина  $l = 500$  мм. Температура стенки  $t_c = 115$  °С. Режим кипения пузырьковый.

**Найти:** При какой силе тока произойдет переход к пленочному кипению?

**Допущение:** Удельное электрическое сопротивление трубки не зависит от температуры.

**Задача 6.8.**

**Дано:** В парогенераторе АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000 должно производиться 0,11 кг/с пара с 1 м<sup>2</sup> поверхности нагрева при давлении 4 МПа. Кипение воды происходит на наружной поверхности труб. Теплоноситель (вода) движется по трубам с такой скоростью, что  $\alpha = 32\,000$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). Толщина стенки труб из нержавеющей стали  $\delta = 1,5$  мм, для которой  $\lambda = 20$  Вт/(м·К).

**Найти:** Среднюю температуру теплоносителя.

**Задача 6.13.**

**Дано:** Плотность подводимого к поверхности нагрева теплового потока  $q = 6$  МВт/м<sup>2</sup>.

**Найти:** Возможен ли теплоотвод при пузырьковом кипении воды ( $p = 4,7$  МПа)?

**Задача 7.6.**

**Дано:** Вертикальные трубки теплообменного аппарата, на которых конденсируется водяной пар. Средняя плотность теплового потока на наружной поверхности труб  $q = 1,05 \cdot 10^5$  Вт/м<sup>2</sup>. Длина труб  $l = 1,8$  м. Давление пара, находящегося в межтрубном пространстве, равно 86 бар.

**Найти:** Температуру стенки.

**Задача 7.15.**

**Дано:** На поверхности горизонтальной трубы ( $d = 16$  мм,  $l = 3$  м) конденсируется сухой насыщенный водяной пар при давлении  $P_n = 8,59$  МПа. Температура стенки трубы  $t_c = 250$  °С.

**Найти:** 1) Коэффициент теплоотдачи при конденсации пара.

2) Сколько таких труб потребуется для конденсации пара  $G_n = 0,431$  кг/с?

**Задача 10.10.**

**Дано:** Серое тело при температуре  $T = 800$  К. Падающий поток теплового излучения равен  $E_{\text{пад}} = 60$  кВт/м<sup>2</sup>, а поглощенный поток  $E_{\text{погл}} = 48$  кВт/м<sup>2</sup>.

**Найти:** Степень черноты серого тела и поток собственного излучения  $E_{\text{соб}}$ .

**Задача 10.18.**

**Дано:** По оси трубы внутренним диаметром 20 мм и длиной 1 м натянута проволока из нихрома диаметром 0,5 мм. По проволоке пропускается электрический ток  $I = 4,5$  А. Степень черноты проволоки  $\epsilon = 0,7$ , удельное электрическое сопротивление проволоки  $\rho = 1,1 \cdot 10^{-6}$  Ом·м, температура трубы 30 °С.

**Задача 10.20.**

**Дано:** По трубе протекает нагретый воздух. Для измерения температуры воздуха по оси трубы поместили термопару, наружный диаметр чехла которой равен 3 мм. Термопара зарегистрировала температуру 500 °С. Показание другой термопары, установленной на стенке трубы, 450 °С. Степень черноты чехла термопары 0,8, а коэффициент теплоотдачи от воздуха к чехлу 100 Вт/(м<sup>2</sup>·К)

**Найти:** Погрешность измерения температуры воздуха, возникшую за счет теплообмена излучением между термопарой в воздухе и стенкой трубы.

**Задача 10.21.**

**Дано:** В термосе ( $d_1 = 80$  мм,  $d_2 = 90$  мм,  $l = 300$  мм) находится вода с температурой 95 °С. Степень черноты обеих стенок термоса 0,02. Температура окружающего воздуха 20 °С.

Конвективный коэффициент теплоотдачи со стороны воды 300 Вт/(м<sup>2</sup>·К), суммарный — за счет конвекции и излучения со стороны воздуха — 15 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

**Найти:** Количество тепла  $Q_{\text{пот}}$  в Ваттах, теряемое через боковую поверхность термоса.

**Задача 12.1.**

**Дано:** Водно-водяной теплообменный аппарат, сконструированный по 1) прямо- и 2) противоточной схемам движения. Расход греющего теплоносителя  $G_1 = 10$  кг/с; расход нагреваемого теплоносителя  $G_2 = 6$  кг/с; температуры  $t_1^{ex} = 100$  °С;  $t_1^{bix} = 75$  °С;  $t_2^{ex} = 20$  °С; коэффициент теплопередачи  $k = 2500$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

**Найти:** Площадь поверхности нагрева теплообменного аппарата

**Указание:** Потерями теплоты в окружающую среду пренебречь.

**Задача 12.4.**

**Дано:** Конденсатор паровой турбины представляет собой горизонтальный двухходовой кожухотрубный теплообменник. Поверхность теплообмена выполнена из латунных трубок 28x1 мм. Расход и давление пара в конденсаторе равны соответственно  $G_1 = 66,7$  кг/с и  $p_1 = 5,1$  кПа. Температура охлаждающей воды на входе  $t_2^{ex} = 22$  °С, а ее скорость в трубах  $w_2 = 1,5$  м/с. Расход воды  $G_2 = 6200$  кг/с. Коэффициент теплопередачи  $k = 2750$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

**Найти:** Площадь поверхности теплообмена, длину и общее число труб.

**Задача 12.11.**

**Дано:** В пароводяной теплообменник поступает сухой насыщенный водяной пар с  $t_s = 150$  °С, расход которого  $G_1 = 0,22$  кг/с, а выходит пароводяная смесь с массовым расходным паросодержанием  $x_{bix} = 0,7$ . Для воды известно: расход  $G_2 = 2,1$  кг/с; температура на входе  $t_2^{ex} = 45$  °С. Коэффициент теплопередачи  $k = 2600$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

**Найти:**  $F$  — площадь греющей поверхности теплообменника.

**Задача 12.12.**

**Дано:** В противоточном теплообменном аппарате дымовые газы расходом  $G_1 = 1,19$  кг/с охлаждаются от  $t_1^{ex} = 220$  °С до  $t_1^{bix} = 170$  °С. Отдаваемая дымовыми газами теплота расходуется на нагревание воды (расход  $G_2 = 0,159$  кг/с; давление  $p = 0,5$  МПа;  $t_2^{ex} = 40$  °С). Коэффициент теплопередачи  $k = 95$  Вт/(м<sup>2</sup>·К)

**Найти:** Площадь поверхности нагрева, температуру воды на выходе, а также в середине теплообменного аппарата.

**Задача 12.13.**

**Дано:** Для пароводяного теплообменника известно: расход пара  $G_1 = 0,732$  кг/с; температура насыщения пара  $t_s = 170$  °С; расход воды  $G_2 = 2,5$  кг/с; температуры воды на входе  $t_2^{вх} = 45$  °С и выходе  $t_2^{вых} = 145$  °С; давление воды  $p_2 = 1$  МПа.

**Найти:** Паросодержание на выходе.

**Задача 15**

Внутри трубы с внутренним диаметром 12 мм и длиной 2.5 м течет вода со скоростью 6 м/с. На трубу намотан нагреватель, что создает постоянный по длине тепловой поток  $q=10^6$  Вт/м<sup>2</sup>. Вычислить температуру внутренней поверхности трубы в выходном сечении, если температура воды на входе 20°С.

**Задача 36**

Определить плотность лучистого теплового потока между двумя, параллельными плоскими стенками с температурами  $t_1=200$ °С,  $t_2=15$ °С и степенями черноты соответственно  $\varepsilon_1=0,85$  и  $\varepsilon_2=0,56$ . Как изменится результирующий тепловой поток, если между стенками параллельно им поместить тонкий металлический экран со степенями черноты с обеих сторон  $\varepsilon_3=0,025$ . Условия теплообмена считать стационарными. Теплопроводностью и конвективным теплообменом в зазоре между пластинами пренебречь.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Направление/  
Специальность**14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика»**

Профиль/

**Nuclear Technologies**

**ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ**

Тема: Теплопроводность

- T56.** Как направлен градиент температуры по отношению к изотермической поверхности?
- T57.** Размерность коэффициента теплопроводности...
- T58.** Плотность теплового потока на поверхности в стационарных условиях равна...
- T59.** Размерность коэффициента температуропроводности...
- T60.** Минус в записи закона теплопроводности Фурье означает, что
- T61.** Закон теплопроводности Фурье вытекает из...
- T62.** Какая скорость распространения тепла предполагается в гипотезе Фурье?
- T63.** Влияет ли теплоемкость тела на процесс теплопроводности в твердом теле при стационарных условиях?
- T64.** Верно ли, что размерности плотности теплового потока и объемной мощности внутренних источников тепла совпадают?
- T65.** Верно ли, что объемная мощность источников тепла равна дивергенции потока тепла ?
- T66.** Верно ли, что перепад температур и термическое сопротивление плоской стенки прямо пропорциональны?
- T67.** Термическое сопротивление цилиндрической стенки ( $d_2 > d_1$ ) ...
- T68.** Термическое сопротивление плоской стенки ....
- T69.** Термическое сопротивление теплопередачи между жидкостями, разделенными стенкой...
- T70.** Если критический диаметр тепловой изоляции больше наружного диаметра цилиндрической стенки, то увеличение толщины тепловой изоляции неизменной температуре воздуха приведет к ...
- T71.** При выборе материала для тепловой изоляции цилиндрической трубы соотношение между критическим диаметром тепловой изоляции  $d_{кр}$  и внешним диаметром трубы  $d_2$ ...
- T72.** Критический диаметр тепловой изоляции рассчитывается, исходя из....
- T73.** Зависит ли результат решения дифференциального уравнения теплопроводности от рода граничных условий?
- T74.** Возможны ли граничные условия I рода на поверхности шара?
- T75.** Теплообмен между кипящей водой и воздухом будет более эффективным, если сделать ребрение со стороны...
- T76.** Верно ли, что коэффициент теплопроводности ребер на поверхности теплоотдающей стенки должен быть как можно меньше?
- T77.** Распределение температуры в цилиндрическом топливном стержне при равномерном распределении внутренних источников тепла подчиняется...
- T78.** Можно ли получить безразмерные формулы для расчета поля температуры при охлаждении тела из формул для нагрева тела, если изменить знак?
- T79.** В цилиндрическом топливном стержне максимум температуры находится на оси. Как изменится положение максимума температуры, если на части периметра теплообмен ухудшится?
- T80.** Распределение температуры в трехслойной плоской стенке показано на рисунке. Как соотносятся коэффициенты теплопроводности используемых материалов, если толщины слоев одинаковы?
- T81.** Какое физическое свойство тела можно измерить с помощью регулярного режима?
- T82.** Какова размерность темпа охлаждения?
- T83.** Три тела: пластина толщиной  $2D$ , цилиндр и шар радиуса  $R$  ( $D=R$ ), выполненные из одного материала и имеющие одинаковую начальную температуру охлаждаются в среде с постоянной температурой. Какое из тел будет охлаждаться быстрее?

- T84.** Расположите материалы: нержавеющая сталь, двуокись урана, воздух, алюминий, сталь 20, асбест, ртуть по мере возрастания коэффициента теплопроводности (температура  $\sim 20^{\circ}\text{C}$ )
- T85.** Каково направление градиента температуры по отношению к изотермической поверхности? Могут ли изотермические поверхности быть замкнутыми?
- T86.** Если критический диаметр тепловой цилиндрической стенки больше ее наружного диаметра, то как будет меняться тепловой поток через стенку при увеличении толщины тепловой изоляции? Температура окружающего воздуха остается постоянной.
- T87.** В теплообменнике тепло передается от кипящей воды к воздуху через твердую стенку. Для увеличения интенсивности теплообмена предложено сделать оребрение. Оребрение стенки с какой стороны будет эффективнее?
- T88.** Твэл представляется собой цилиндрического топливную таблетку, заключенную в оболочку из нержавеющей стали. Как изменится температура в центре твэла, если на некоторой части периметра контакт между топливом и оболочкой нарушится?
- T89.** Может ли термическое сопротивление теплопередачи между жидкостями, разделенными твердой стенкой быть больше термического сопротивления твердой стенки?
- T90.** Интенсивность охлаждения плоского твэла одинакова с обеих сторон. Как изменится температура одной поверхности твэла, если с противоположной стороны теплообмен ухудшится?
- T91.** В плоской стенке при  $q = \text{const}$  распределение температуры подчиняется линейному закону, если коэффициент теплопроводности стенки не зависит от температуры ( $\lambda = \text{const}$ ). Как изменится распределение температуры в стенке, если  $\lambda = a + bt$  ( $a, b$  – положительные величины).
- T92.** В цилиндрическом твэле максимум температуры находится на оси. Как изменится положение максимума, если на части периметра теплообмен ухудшится?
- T93.** Плоский твэл омывается с двух сторон теплоносителями с разными температурами  $t_1$  и  $t_2 > t_1$ . Как изменится распределение температуры в твэле, если внутреннее тепловыделение  $q_v$  увеличится?
- T94.** Как связаны перепады температур и термические сопротивления каждого слоя в многослойной плоской стенке?
- T95.** Плоская стенка состоит из трех слоев одинаковой толщины, но изготовленных из разных материалов: изолятор, металл, изолятор. Каково распределение температуры в такой стенке?
- T96.** Твэл состоит из топливной таблетки и оболочки, отделенной от таблетки слоем инертного газа. Наружная поверхность твэла омывается водой. Как изменится распределение температуры внутри твэла, если скорость течения воды увеличится?
- T97.** Твэл состоит из топливной таблетки и оболочки, отделенной от таблетки слоем инертного газа. Наружная поверхность твэла омывается водой. Как изменится распределение температуры внутри твэла, если внутреннее тепловыделение  $q_v$  увеличится?
- T98.** При каких числах Фурье реализуется регулярный режим охлаждения?
- T99.** Можно ли, пользуясь диаграммами вида  $\Theta = \Phi(Fo, Bi)$  для цилиндра, определить температуру в любой точке цилиндра?
- T100.** Можно ли определить значение температуры в любой точке твердого тела в любой момент времени из дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности?
- T101.** Зависит ли от рода граничных условий результат решения дифференциального уравнения теплопроводности для тел одинаковой формы?
- T102.** Как рассчитать теплопроводность материала, пользуясь методом регулярного режима?
- T103.** Как изменяется во времени температура плоской пластины, охлаждаемой с двух сторон в среде с температурой  $t_{cp}$ , если известно, что критерий  $Bi > 100$ ?

- T104.** Как изменяется во времени температура плоской пластины, охлаждаемой с двух сторон в среде с температурой  $t_{cp}$ , если известно, что критерий  $Bi \sim 1$ ?
- T105.** Какие физические свойства среды содержат безразмерные числа Био и Фурье?
- T106.** Безразмерные критерии Био и Нуссельта записываются одинаково  $(\alpha d)/\lambda$ . Чем же они отличаются и каков их физический смысл?
- T107.** Как изменяется во времени температура плоской пластины, охлаждаемой с двух сторон в среде с температурой  $t_{cp}$ , если известно, что критерий  $Bi < 0,1$ ?
- T108.** Верно ли утверждение, что темп охлаждения тела не зависит от его линейных размеров? Если верно, то от чего зависит темп охлаждения тела?
- T109.** Можно ли получить безразмерные формулы для расчета поля температуры при охлаждении тела из формул, полученных для случая нагрева тела, просто изменив знак?
- T110.** Три пластины из разных материалов: стали, дерева и кафельной плитки находятся при одной и той же температуре  $20^\circ\text{C}$ . Почему, касаясь каждой из пластин рукой, температура которой  $36^\circ\text{C}$ , человек ощущает в одних случаях холод, в других тепло?

Тема: Конвективный теплообмен в однофазной среде

- K56.** Размерность коэффициента теплообмена....
- K57.** Размерность коэффициента кинематической вязкости....
- K58.** Коэффициент объемного расширения газов...
- K59.** Верно ли, что процесс конвективного теплообмена полностью описывается (если не учитывать граничные условия) дифференциальными уравнениями: энергии, движения, неразрывности и числом Рейнольдса?
- K60.** Коэффициент теплообмена входит в дифференциальное уравнение энергии. Верно ли это?
- K61.** Могут ли быть одинаковыми условия однозначности при нестационарной теплопроводности твердого тела и при конвективном теплообмене?
- K62.** При приведении граничного условия III рода к безразмерному виду появляется безразмерное число...
- K63.** Число Рейнольдса появляется при приведении к безразмерному виду...
- K64.** Число Грасгофа появляется при приведении к безразмерному виду...
- K65.** Ускорение силы тяжести входит в безразмерное число ...
- K66.** Какие одинаковые величины содержатся в числах Пекле и Рейнольдса?
- K67.** Число Прандтля содержит...
- K68.** Могут ли законы движения и теплообмена для несжимаемой жидкости применимы к газам?
- K69.** С увеличением скорости при турбулентном течении в трубе коэффициент теплообмена и гидравлическое сопротивление возрастают. В каком соотношении?
- K70.** Как изменяется коэффициент теплообмена по длине пластины, обтекаемой ламинарным потоком газа, при условии  $q = \text{const}$ ?
- K71.** К теплоносителям с числами Прандтля существенно меньше единицы ( $Pr \ll 1$ ) относятся...
- K72.** Верно ли, что в жидких металлах толщина гидродинамического пограничного слоя значительно превышает толщину теплового пограничного слоя ...
- K73.** Тепловой и гидродинамический пограничные слои совпадают при числе Прандтля....
- K74.** Как изменяется коэффициент теплообмена вдоль вертикальной пластины, если  $t_w > t_f$ , а течение предполагается ламинарным?
- K75.** Теплообмен в плоских прослойках может рассчитываться по формулам для теплопроводности в плоской стенке при числе Рэлея...
- K76.** При каком режиме свободного течения около вертикальных поверхностей наступает автомодельный режим теплообмена?
- K77.** Какой определяющий размер берется при расчете коэффициента теплообмена около вертикального цилиндра?

- К78.** При расчете теплообмена свободной конвекцией горизонтального цилиндра определяющий размер есть...
- К79.** При расчете теплообмена в слое газа, заключенного между двумя одинаковыми вертикальными пластинами какой размер выбирается в качестве определяющего?
- К80.** Верно ли, что при уменьшенной силе тяжести (например, в космическом полете) свободное движение около нагретых поверхностей слабее по сравнению с земными условиями...
- К81.** Характер движения воздуха и воды на вертикальной трубе радиатора комнатного отопления.
- К82.** Подобны ли по виду распределения температуры и скорости при свободном ламинарном движении около вертикальной пластины?
- К83.** Какие числа подобия кроме  $Nu$  входят в безразмерные формулы для расчета коэффициента теплообмена при турбулентном течении жидких металлов, воды и газов в трубе?
- К84.** Как зависит коэффициент теплообмена от скорости при ламинарном течении вдалеке от входа в трубу?
- К85.** Какое влияние оказывает свободное движение на коэффициент теплообмена, если направления свободного и вынужденного ламинарного течений совпадают.
- К86.** Какое влияние оказывает свободное движение на коэффициент теплообмена при турбулентном течении ( $Re > 10^4$ ) в трубе?
- К87.** Зависимость коэффициента теплообмена от скорости при турбулентном течении
- К88.** Зависимость числа Нуссельта от числа Рейнольдса при турбулентном течении воды и газов
- К89.** Зависимость числа Нуссельта от числа Пекле при турбулентном течении жидких металлов
- К90.** Какое влияние оказывает направление теплового потока (нагрев или охлаждение) на коэффициент теплообмена при турбулентном течении ГАЗОВ (ВОДЫ)?
- К91.** Как влияют граничные условия ( $t = \text{Const}$  или  $q = \text{Const}$ ) на коэффициент теплообмена при турбулентном течении воды, газов?
- К92.** Можно ли в расчетах коэффициента теплообмена при турбулентном течении в каналах некруглой формы применить безразмерные формулы, полученные для круглой трубы?
- К93.** При какой температуре выбираются теплофизические свойства теплоносителя для расчета теплообмена при турбулентном течении в каналах?
- К94.** Как влияют граничные условия ( $t = \text{Const}$  или  $q = \text{Const}$ ) на коэффициент теплообмена при ламинарном течении воды в круглой трубе?
- К95.** Одинаковы ли значения среднего и местного коэффициентов теплообмена за пределами участка термической стабилизации?
- К96.** Зависит ли коэффициент теплообмена при турбулентном течении в кольцевом канале от соотношения плотностей тепловых потоков на разных поверхностях?
- К97.** В каком соотношении находятся коэффициенты теплоотдачи в гладких ( $\alpha_g$ ) и шероховатых ( $\alpha_{ш}$ ) трубах при турбулентном течении?
- К98.** Гидравлический диаметр кольцевого канала  $d_2/d_1$  равен ...
- К99.** Что принимается за гидравлический диаметр при течении воздуха в канале, сечение которого представляет собой квадрат стороной «а»
- К100.** Гидравлический диаметр канала прямоугольной формы со сторонами «b» и «d» равен
- К101.** При каком значении числа Релея ( $Ra$ ) свободное движение воздуха между двумя вертикальными пластинами отсутствует?
- К102.** Верно ли утверждение, что режим течения при свободном движении теплоносителя определяется по числу Грасгофа ( $Gr$ )?
- К103.** Как соотносятся коэффициенты теплообмена первого и третьего рядов при поперечном обтекании пучка труб

- К104.** Верно ли утверждение, что угол отрыва турбулентного пограничного слоя при поперечном обтекании цилиндра больше, чем угол, при котором происходит отрыв ламинарного пограничного слоя?
- К105.** Слой газа расположен между двумя пластинами, температуры которых  $t_1 > t_2$ . Рассчитанный коэффициент конвекции  $\varepsilon_k = 3,5$ . Во сколько раз количество тепла, переносимое в слое за счет конвекции больше количества тепла, переносимого только теплопроводностью?
- К106.** При исследовании теплообмена в режиме вынужденного течения воды в круглой трубе диаметр трубы увеличили в 5 раз. Как изменится коэффициент теплообмена, если скорость течения теплоносителя осталась той же?
- К107.** Из физических представлений стало ясно, что определяемая величина в соотношении зависит от 5 параметров: скорости  $W$ , плотности  $\rho$ , вязкости  $\mu$ , диаметра  $d$ , длины канала  $l$ . Сколько безразмерных комплексов можно составить при приведении соотношения к безразмерному виду?
- К108.** Как зависит длина пути смещения от расстояния от стенки в теории пограничного слоя Прандтля?
- К109.** Известно, что при вынужденном движении воды в круглой трубе диаметром 20 мм толщина ламинарного подслоя в пограничном слое составляет 0.5 мм. Каково значение числа Нуссельта?

### Критерии и шкала оценивания

Оценка	Критерии оценки
Зачтено 24-40	Выставляется при соответствии параметрам экзаменационной шкалы на уровнях «отлично», «хорошо», «удовлетворительно».
Незачтено 23 и меньше	Выставляется при соответствии параметрам экзаменационной шкалы на уровне «неудовлетворительно».

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

## Комплект заданий для контрольной работы

по дисциплине Гидродинамика и теплообмен в ядерных энергетических установках / Hydrodynamics and Heat Transfer in Nuclear Power Plants

(наименование дисциплины)

### 1. Тема Стационарная теплопроводность без внутренних источников тепла

---

#### Задача 1.1

**ДАНО:** Корпус экспериментальной установки толщиной 8 мм выполнен из нержавеющей стали. Снаружи корпус последовательно покрыли слоем стекловаты толщиной 50 мм, затем асбестовой тканью толщиной 5 мм и алюминиевой фольгой толщиной 1 мм. Температура внутренней поверхности стенки 120 °С, а внешней 30 °С. Для упрощения расчетов предлагается заменить многослойную стенку неким материалом, имеющим суммарную толщину слоев и обладающую эквивалентным коэффициентом теплопроводности так, чтобы перепад температуры в стенке остался тем же самым.

**НАЙТИ:** Эквивалентный коэффициент теплопроводности.

---

#### Задача 1.2

**ДАНО:** Для защиты от коррозии медную пластину (коэффициент теплопроводности 372 Вт/мК) толщиной 3 мм с обеих сторон покрыли двухмиллиметровыми слоями нержавеющей стали (коэффициент теплопроводности 17 Вт/мК). Температура одной боковой стороны такой многослойной стенки равна 500 °С, а другой 100 °С.

**НАЙТИ:** Тепловой поток, проходящий через стенку и распределение температуры в стенке. Как изменится тепловой поток и распределение температуры в стенке, если между медной и стальными пластинами с каждой из сторон появится воздушный зазор толщиной 0,5 мм? Графически изобразить распределение температуры в стенке для обоих случаев.

---

#### Задача 1.3

**ДАНО:** Нагреватель экспериментальной установки мощностью 2 кВт, представляет собой нихромовый стержень диаметром 3мм, который вставлен коаксиально в трубку из нержавеющей стали 6х0,6 мм. Изолирующий зазор между нагревателем и трубкой заполнен окисью магния с пористостью 0,3. Перед работой в изолирующий слой был закачан гелий и нагреватель запаян. Измерения показали, что температура на внешней поверхности нагревателя равна 600 °С. Однако разгерметизация нагревателя привела к тому, что гелий в порах изолятора постепенно замещался воздухом. Коэффициенты теплопроводности окиси магния, гелия и воздуха равны 40; 0,323; 0,06 Вт/(мК).

**НАЙТИ:** Температуру на поверхности нихромового стержня в начале эксперимента, т.е. когда изолирующий слой заполнен гелием и в конце эксперимента, т.е. когда этот слой заполнен воздухом.

---

---

#### Задача 1.4

**ДАНО:** На стенке холодильной камеры толщиной 1 мм вырос двухмиллиметровый слой льда. Стенка выполнена из нержавеющей стали, воздух в камере неподвижен, температура в камере поддерживается  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Другая сторона камеры омывается потоком воздуха при температуре  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Теплота плавления льда  $333,3\text{ Дж/кг}$ .

**НАЙТИ:** Значение коэффициента теплообмена между внешней стороной камеры и воздухом, при котором начнется плавление льда? Как нужно изменить (увеличить или уменьшить) коэффициент теплообмена, чтобы ускорить плавление?

---

#### Задача 1.5

**ДАНО:** Стена здания высотой 4 м, длиной 12 м и шириной 20 см построена из слоев кирпича высотой 7 см, между которыми проложены слои раствора в 10 мм. Коэффициент теплообмена и температура воздуха со стороны помещения  $12\text{ Вт/м}^2\text{К}$  и  $25^{\circ}\text{C}$ , соответственно. С наружной стороны здания коэффициент теплообмена и температура воздуха  $100\text{ Вт/м}^2\text{К}$  и  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , соответственно.

**НАЙТИ:** Потери тепла через стену и изобразить эквивалентную электрическую цепь.

---

#### Задача 1.6

**ДАНО:** Алюминиевый сосуд с 1 литром воды помещен на газовую горелку. Воздействие пламени на дно сосуда ограничено площадкой  $0,02\text{ м}^2$ . Температура газов, касающихся дна сосуда равна  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Толщина дна сосуда 1 мм, коэффициент теплопроводности алюминия  $160\text{ Вт/мК}$ . Коэффициенты теплообмена со стороны воды  $5000\text{ Вт/м}^2\text{К}$  и со стороны пламени  $200\text{ Вт/м}^2\text{К}$ .

**НАЙТИ:** Скорость роста температуры воды  $\frac{dt}{d\tau}$  при достижении температуры насыщения.

---

#### Задача 1.7

**ДАНО:** Цилиндрическая стенка из нержавеющей стали (внутренний диаметр 100 мм, внешний диаметр 120 мм) покрыта слоем асбестового волокна толщиной 5 см, а затем слоем стеклоткани толщиной 0,5 см. На внутренней поверхности стенки температура  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а на внешней поверхности стеклоткани  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для упрощения расчетов предлагается заменить многослойную цилиндрическую стенку одним слоем, толщина которого будет равна суммарной толщине упомянутых слоев, с эквивалентным коэффициентом теплопроводности.

**НАЙТИ:** Эквивалентный коэффициент теплопроводности.

**ДОПУЩЕНИЕ:** Тепло передается только в радиальном направлении.

---

---

### Задача 1.8

**ДАНО:** Температура левой стороны пластины толщиной 0,1 м с коэффициентом теплопроводности 3,4 Вт/мК находится при температуре 100 °С. Правая сторона пластины охлаждается в воздухе с температурой 20 °С, причем коэффициент теплообмена между правой стороной пластины и воздухом равен  $\alpha = (5,1)^{-5/4} \cdot (t_{cm} - t_{возд})^{1/4}$ , Вт/м<sup>2</sup>К.

**НАЙТИ:** Тепловой поток и температуру стенки на правой стороне.

---

### Задача 1.9

**ДАНО:** На заводе имеется трубопровод длиной 300 м и диаметром 20 мм, по которому движется пар при температуре 250 °С. Для уменьшения потерь тепла требуется наложить изоляцию на трубопровод, так чтобы при температуре окружающего воздуха в 25 °С, температура поверхности была близка к 250 °С. Оценка коэффициента теплообмена дала результат в 10 Вт/м<sup>2</sup>К. Руководство завода считает, что стоимость изоляции должна окупиться в течение года. Цена одного кВт·час равна 1 рубль 50 коп. Стоимость используемой изоляции 2000 рублей за метр.

**НАЙТИ:** Годовую экономию энергии в кВт·час. Окупятся ли затраты на изоляцию в течение года?

---

### Задача 1.10

**ДАНО:** Сфера внешним диаметром 20 см сделана из Ст. 20 (коэффициент теплопроводности 50 Вт/(мК)). Внутри сферы имеется полость диаметром 8 см, заполненная водой. Полость соединена с атмосферой. Температура на внешней поверхности сферы 250 °С.

**НАЙТИ:** Количество тепла, необходимое, чтобы вода в полости закипела.

**ДОПУЩЕНИЕ:** Коэффициент теплообмена при кипении воды очень высокий.

---

## 2. Тема теплообмен при свободной конвекции

---

### Задача 5.1

**ДАНО:** Вертикальный электрический провод диаметром 5 мм охлаждается в условиях свободной конвекции. Температура поверхности провода 95 °С, а температура охлаждающей среды вдали от провода 5 °С.

**НАЙТИ:** Количество тепла, отдаваемое одним погонным метром провода, если теплоносителем служит 1) воздух, 2) вода.

**ДОПУЩЕНИЯ:** Теплообмен излучением между воздухом и проводом не учитывать.

---

---

### Задача 5.2

**ДАНО:** Вертикально расположенная электромонтажная плата конечной ширины и высотой 0,15 м. Температура поверхности платы 60 °С, температура окружающего воздуха 25 °С. Вдали от платы воздух неподвижен.

**НАЙТИ:** Тепловые потери с одного метра поверхности при условии, что тепло снимается только свободной конвекцией.

**ДОПУЩЕНИЯ:** Постоянная температура поверхности, теплообмен с торцов платы незначителен

---

### Задача 5.3

**ДАНО:** Параллельная смешанная конвекция около вертикальной обогреваемой пластины высотой 30 см с постоянной температурой поверхности 60 °С. Средняя температура потока воздуха 25 °С.

**НАЙТИ:** Минимальную скорость потока воздуха в вертикальном направлении, при которой влияние свободной конвекции на коэффициент теплообмена будет менее 5%.

**ДОПУЩЕНИЯ:** Условия стационарные.

**УКАЗАНИЕ:** Влияние свободной конвекции на коэффициент теплообмена будет ~ 5%, если  $Gr_L / Re_L^2 = 0.08$ .

---

### Задача 5.4

**ДАНО:** Верхняя поверхность печи размером 0,5 x 0,5 м находится при температуре 60 °С. Температура окружающего воздуха вдали от печи 23 °С. Для уменьшения потерь тепла на верхнюю поверхность печи положили платину тепловой изоляции толщиной 100 мм, а размерами, совпадающими с размерами поверхности печи. Коэффициент теплопроводности изоляции 0,2 Вт/м·К.

**НАЙТИ:** Уменьшение потока тепла с верхней поверхности печи (в %) при использовании тепловой изоляции.

**ДОПУЩЕНИЯ:** Условия стационарные, излучением можно пренебречь.

---

### Задача 5.5

**ДАНО:** Смотровое окно в корпусе экспериментальной установки высотой 0,5 м и шириной 40 см. Окно представляет собой блок из двух огнеупорных стекол толщиной 0,5 см, зазор между стеклами 40 мм. Температура внутри установки 660 °С, снаружи 20 °С. Коэффициент теплопроводности стекла 0,19 Вт/мК.

**НАЙТИ:** Как изменятся потери тепла через окно, если расстояние между стеклами уменьшится в два раза.

---

---

#### Задача 5.6

**ДАНО:** Контур для изучения гидродинамики и теплообмена в жидком натрии. Нагрев натрия осуществляется при помощи горизонтального электрического нагревателя, выполненного в форме цилиндра диаметром 50 мм и длиной 1,2 м. Температура поверхности нагревателя постоянна и равна 500 °С. Средняя температура натрия в одном из опытов достигла 250 °С.

**НАЙТИ:** Мощность нагревателя.

---

#### Задача 5.7

**ДАНО:** Цилиндрический твэл диаметром 6,9 мм, помещенный горизонтально в большую воздушную камеру для измерения остаточного тепловыделения. Температура воздуха в камере 20 °С. В некоторый момент времени датчик измерения температуры поверхности показал 318 °С.

**НАЙТИ:** Мощность внутренних источников тепла в момент измерения.

**ДОПУЩЕНИЯ:** Рассмотреть стационарные условия теплообмена.

---

#### Задача 5.8

**ДАНО:** Вертикальная щель заполнена воздухом. Ширина щели меняется от 1 до 20 мм. Температура одной поверхности 250 °С, другой 50 °С.

**НАЙТИ:** Зависимость теплового потока и эквивалентного коэффициента теплопроводности от ширины щели. Построить график. При какой ширине щели перенос тепла будет осуществляться только теплопроводностью.

**ДОПУЩЕНИЯ:** Перенос тепла осуществляется только в направлении, нормальном к граничным поверхностям.

**УКАЗАНИЕ:** Перенос тепла теплопроводностью осуществляется, если  $Ra \leq 10^3$ .

---

#### Задача 5.9

**ДАНО:** Горизонтальная труба находится в большом помещении. Внутренний диаметр трубы 168 мм, толщина стенки 30 мм. Температура внутренней поверхности трубы постоянна и равна 400 °С, температура воздуха в помещении 27 °С. Коэффициент теплопроводности материала трубы 0,072 Вт/мК.

**НАЙТИ:** Потери тепла с одного погонного метра трубы за счет конвективного теплообмена.

---

### Задача 5.10

**ДАНО:** Трубка диаметром 5 мм для подогрева физиологического раствора помещена в водяную ванну, температура в которой постоянна и равна 50 °С. Расход физиологического раствора 0,02 кг/с, температура на входе 25 °С на выходе 37 °С. Коэффициент теплообмена внутри трубки 450 Вт/м<sup>2</sup>К.

**НАЙТИ:** Длину трубки, обеспечивающую заданную температуру раствора на выходе.

**ДОПУЩЕНИЯ:** Стационарные условия, свойства физиологического раствора равны свойствам воды, термическое сопротивление трубки чрезвычайно мало.

### 3. Критерии и шкала оценивания

Оценка	Критерии оценки
Отлично 36-40	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала;</li><li>- исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал;</li><li>- правильно формулировать определения;</li><li>- продемонстрировать умения самостоятельной работы с литературой;</li><li>- уметь сделать выводы по излагаемому материалу.</li></ul>
Хорошо 30-35	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать достаточно полное знание программного материала;</li><li>- продемонстрировать знание основных теоретических понятий; достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал;</li><li>- продемонстрировать умение ориентироваться в литературе;</li><li>- уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу.</li></ul>
Удовлетворительно 24-29	Студент должен: <ul style="list-style-type: none"><li>- продемонстрировать общее знание изучаемого материала;</li><li>- показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины;</li><li>- уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li><li>- знать основную рекомендуемую программой учебную литературу.</li></ul>
Неудовлетворительно 23 и меньше	Студент демонстрирует: <ul style="list-style-type: none"><li>- незнание значительной части программного материала;</li><li>- не владение понятийным аппаратом дисциплины;</li><li>- существенные ошибки при изложении учебного материала;</li><li>- неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li><li>- неумение делать выводы по излагаемому материалу.</li></ul>

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ**  
**ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Кафедра Теплофизика

## **Комплект тестовых заданий**

по дисциплине

**Гидродинамика и теплообмен в ядерных энергетических**  
**установках / Hydrodynamics and Heat Transfer in Nuclear Power Plants**

(наименование дисциплины)

**Программа тестирования**

**“НМТ Testing”**

**по курсу «Гидродинамика и теплообмен в ядерных энергетических установках /**  
**Hydrodynamics and Heat Transfer in Nuclear Power Plants»**

**(описание)**

Программа “НМТ Testing” создана для проведения тестирования студентов с помощью персонального компьютера. Интерфейс программы максимально приближен, по параметрам, к письменному тестированию, а именно:

- студент может предварительно, до выполнения ответов на вопросы, просмотреть их все и отвечать на них в любой последовательности (не обязательно по-порядку, как это сделано в большинстве компьютерных программ тестирования).
- в левой части окна программы (рис.1) расположен список вопросов ( поле 1) с 1-ого по 20-ый, при наведении курсора “мыши” на определенный вопрос в поле 1 (Вопрос №1, Вопрос №2 и т.д.), само название вопроса в поле 1 визуальнo выделяется зеленым цветом и обрамляется рамкой, а в окошке текстового вывода 2 появляется текст соответствующего вопроса, и в нижней части окна программы в поле 3 появляются три варианта ответа на него;
- в правом верхнем поле 4, рис.1 совместно с любым из 20-ти вопросов при необходимости можно размещать любые графические объекты (рисунки, графики, формулы в виде изображения размером 250 на 250 пикселей).
- нажав левой кнопкой «мыши» на выбранный вопрос в поле 1, студент читает его текст в поле 2, изучает графическую информацию в поле 4, если такая задана для конкретного вопроса, и отвечает на него, выбирая один из трех вариантов ответа нажатием левой кнопки «мыши» на соответствующий «флажок» поля 3, после чего его выбор сохраняется в памяти программы;
- студент может ответить на вопрос только один раз (не может изменить свой ответ в дальнейшем), но может просмотреть все свои предыдущие ответы по ходу тестирования, в поле 3 они визуальнo указываются после выполнения каждого ответа, но само поле 3 во время тестирования становится неактивным для тех вопросов, на которые студент уже дал ответ.

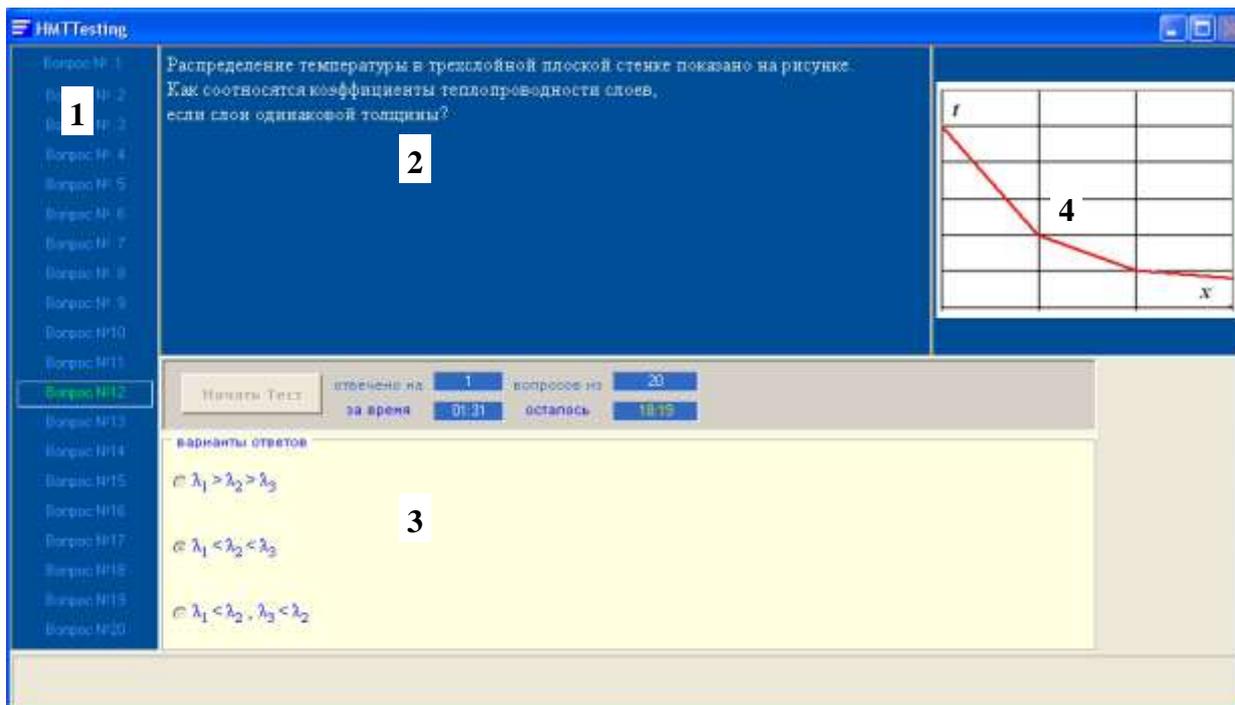


Рис 1 Вид окна программы

Программа позволяет выводить в поле вывода текста вопросов 2 текст максимальным размером в 10 строк примерно по 80 символов на строку, с возможностью размещения в тексте вопроса математических формул в строковом виде.

В поле вывода вариантов ответа 3 каждому из трех вариантов соответствует срока текста в 80 символов, с возможностью размещения в ней математических формул любой сложности и в любом виде (см. рис.2.)

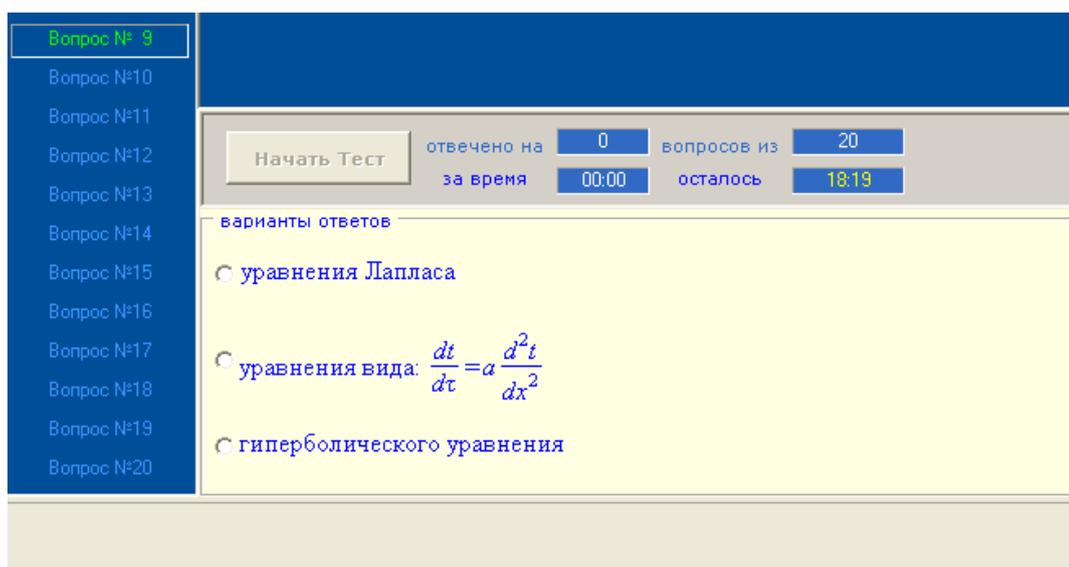


Рис.2. Вывод математических формул

Время тестирования ограничено, на 20 вопросов дается 20 минут. По истечении этого времени программа рассчитывает результат тестирования. Причем вопросы, оставшиеся без ответа принимаются как решенные неправильно. Результат теста выводится на экран (рис.3.).

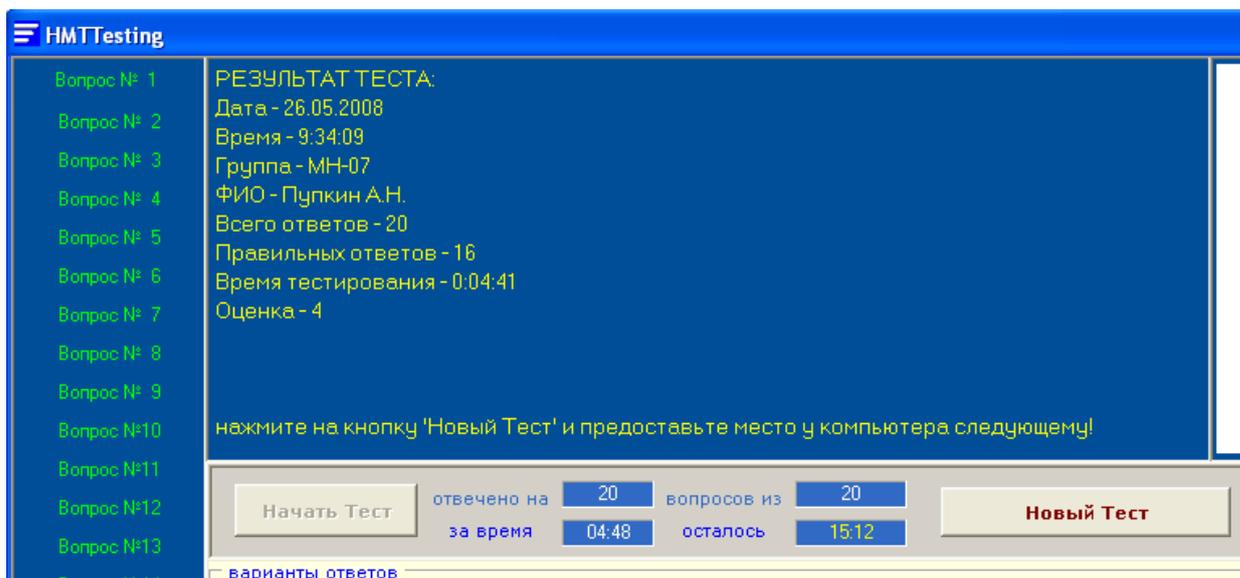


Рис.3. Вывод результата тестирования

В памяти программы возможно размещение 20 вопросов по 10 вариантов, т.е., есть возможность предварительно сохранять в памяти программы несколько вариантов самих вопросов от 1 до 10 и настроить программу на случайный выбор вариантов вопросов по мере прохождения студентом теста, т.е. при прохождении теста для каждого вопроса программа случайным образом выбирает из размещенных в ее памяти один из максимум 10-ти вариантов (например: 1-ый вопрос – 2-ой вариант, 2 вопрос – 6 вариант, 3-ий вопрос – 10 вариант и так далее все 20 вопросов), таким образом, каждому студенту достается свой индивидуальный набор вопросов (индивидуальный вариант теста), соответственно чем больше вариантов вопросов предварительно загружено в программу, тем более разными получаются индивидуальные варианты теста для каждого студента, все комбинации сохраняются в памяти программы при расчете результата тестирования. Но также сохранив в памяти программы, например, пять вариантов (максимум 10) на каждый вопрос (всего 20), можно не использовать функцию случайного выбора, а создать несколько версий программы, каждая из которых будет давать только один из пяти, в данном случае, возможных вариантов теста (наборов 20 вопросов).

В целях защиты от несанкционированного открытия и закрытия программы предусмотрена защита паролем (рис.4). Все данные для вывода вопросов и вариантов ответа к ним в текстовом и графическом виде предварительно сохраняются в памяти программы, так, что для работы программы требуется только один исполнительный файл (\*.exe), объемом от 1 до 1,3 Мб, в зависимости от объема информации, сохраняемой предварительно в памяти программы при создании теста.

При создании теста могут по желанию изменяться следующие параметры программы:

- количество вопросов (20 вопросов – базовый вариант программы);
- количество вариантов вопросов (от 1 до 10);
- количество вариантов ответа на один вопрос (3);
- длина текстовой строки при выводе вопроса и вариантов ответа к нему (80 символов);
- размер изображений к вопросам (250x250 пикселей);

- время тестирования (20 мин.)
- пароль и другие детали программного интерфейса.

Программа “НМТ Testing” является удобным инструментом для тестирования студентов учебных заведений по различным специальностям, применение такого инструмента избавит преподавателей от необходимости создания различных «бумажных» тестов и их многочисленных вариантов для каждой группы студентов, и ограничит весь процесс нажатием нескольких кнопок на компьютере.

Программа написана в среде Delphi 7 и протестирована на WinMe и WinXP. Для отображения математических формул в программе используются модули ExprDraw и ExprMake, разработанные Григорьевым Антоном, e-mail: grigorievab@mail.ru.

## Вопросы для компьютерного тестирования

### Тема «Конвективный теплообмен в однофазной жидкости»

1. Размерность коэффициента теплообмена
2. Размерность коэффициента кинематической вязкости.
3. Коэффициент объемного расширения газов зависит от  $T$  как...
4. Размерность коэффициента динамической вязкости...
5. Размерность касательного напряжения...
6. Процесс конвективного теплообмена полностью описывается (если не учитывать граничные условия) дифференциальными уравнениями: - энергии, - движения, - неразрывности и...
7. Верно ли, что коэффициент теплообмена входит в дифференциальное уравнение энергии?
8. Могут ли быть одинаковыми условия однозначности при нестационарной теплопроводности твердого тела и при конвективном теплообмене?
9. Верно ли, что при рассмотрении процесса конвективного теплообмена граничные условия называются условиями однозначности?
10. При математическом описании процесса конвективного теплообмена следует ли задать физические свойства теплоносителя?
11. Безразмерные формулы для расчета коэффициента теплообмена при вынужденном турбулентном течении жидких металлов в трубе кроме  $Nu$  содержат только число подобия...
12. Безразмерные формулы для расчета теплообмена при вынужденном турбулентном течении в воде кроме  $Nu$  содержат числа...
13. Безразмерные формулы для расчета теплообмена при вынужденном турбулентном течении в газах кроме  $Nu$  содержат числа...
14. Ускорение силы тяжести входит в безразмерное число...
15. Какие одинаковые величины содержатся в числах Пекле и Рейнольдса?
16. Число Прандтля содержит...
17. В какое безразмерное число входит коэффициент теплопроводности теплоносителя?
18. В какое безразмерное число не входит скорость теплоносителя?
19. Зависимость коэффициента теплообмена от скорости при турбулентном течении выражается как...
20. Зависимость числа Нуссельта от числа Рейнольдса при турбулентном течении воды и газов выражается как...
21. Зависимость числа Нуссельта от числа Пекле при турбулентном течении жидких металлов выражается как...
22. Как зависит коэффициент теплообмена от скорости при ламинарном течении вдали от входа в трубу?
23. Как изменяется коэффициент теплообмена вдоль вертикальной пластины, если  $t_w > t_f$ , а

- течение предполагается ламинарным?
24. При приведении граничного условия III рода к безразмерному виду появляется безразмерное число...
  25. Число Рейнольдса ( $Re$ ) появляется при приведении к безразмерному виду...
  26. Число Грасгофа ( $Gr$ ) появляется при приведении к безразмерному виду...
  27. Число Пекле ( $Pe$ ) появляется при приведении к безразмерному виду...
  28. Число Эйлера ( $Eu$ ) появляется при приведении к безразмерному виду...
  29. Подобны ли по виду распределения температуры и скорости при свободном ламинарном движении около вертикальной пластины?
  30. К теплоносителям с числами Прандтля существенно меньше единицы ( $Pr \ll 1$ ) относятся...
  31. Толщина гидродинамического пограничного слоя значительно превышает толщину теплового пограничного слоя ...
  32. Толщины теплового и гидродинамического пограничных слоев совпадают при числе  $Pr$ .
  33. К теплоносителям с числами Прандтля существенно больше единицы ( $Pr \gg 1$ ) относятся ...
  34. Как изменяется коэффициент теплообмена по длине пластины, обтекаемой ламинарным потоком газа, при условии  $q = \text{const}$ ?
  35. Могут ли законы движения и теплообмена для несжимаемой жидкости применимы к газам?
  36. С увеличением скорости при турбулентном течении в трубе коэффициент теплообмена и гидравлическое сопротивление возрастают. В каком соотношении?
  37. Какое влияние оказывает направление теплового потока (нагрев или охлаждение) на коэффициент теплообмена при турбулентном течении ГАЗОВ?
  38. Какое влияние оказывает направление теплового потока (нагрев или охлаждение) на коэффициент теплообмена при турбулентном течении ВОДЫ?
  39. Можно ли в расчетах коэффициента теплообмена при турбулентном течении в каналах некруглой формы применить формулы в безразмерном виде, полученные для круглой трубы?
  40. При какой температуре выбираются теплофизические свойства теплоносителя для расчета теплообмена при турбулентном течении в каналах?
  41. Как влияют граничные условия ( $t = \text{Const}$  или  $q = \text{Const}$ ) на коэффициент теплообмена при ламинарном течении воды в круглой трубе?
  42. При исследовании теплообмена при вынужденном турбулентном течении воды в круглой трубе диаметр трубы увеличили в 2 раза. Как изменится коэффициент теплообмена, если расход теплоносителя остался тем же?
  43. Одинаковы ли значения среднего и местного коэффициентов теплообмена за пределами участка термической стабилизации?
  44. Зависит ли коэффициент теплообмена при турбулентном течении в кольцевом канале от соотношения плотностей тепловых потоков на разных поверхностях?
  45. В каком соотношении находятся коэффициенты теплоотдачи в гладких ( $\alpha_f$ ) и шероховатых ( $\alpha_{ш}$ ) трубах при турбулентном течении?
  46. Одинаковы ли значения среднего и местного коэффициентов теплообмена на участке термической стабилизации при постоянном тепловом потоке на стенке?
  47. Как изменяется коэффициент теплообмена в пределах участка тепловой стабилизации при постоянном тепловом потоке на стенке?
  48. Скорость истечения жидкости из сосуда через отверстие зависит от высоты слоя жидкости, диаметра отверстия, плотности жидкости и ускорения свободного падения. Сколько безразмерных комплексов можно составить при приведении соотношения к безразмерному виду?
  49. Коэффициент теплообмена при вынужденном обтекании пластины зависит от скорости  $W$ , вязкости  $\mu$ , плотности  $\rho$ , теплоемкости  $C_p$ , теплопроводности  $\lambda$  и длины пластины

- L. Сколько безразмерных комплексов можно составить при приведении соотношения к безразмерному виду?
50. Локальная скорости в тонкой пленке жидкости, стекающей по вертикальной поверхности зависит от расстояния, ускорения свободного падения, кинематической вязкости и толщины пленки. Сколько безразмерных комплексов можно составить при приведении соотношения к безразмерному виду?
  51. Из физических представлений стало ясно, определяемая величина в соотношении зависит от 5 параметров: скорости  $W$ , плотности  $\rho$ , вязкости  $\mu$ , диаметра  $d$ , длины канала  $l$ . Сколько безразмерных комплексов можно составить при приведении соотношения к безразмерному виду?
  52. Гидравлическое сопротивление канала с гладкими стенками зависит от 5 параметров: коэффициента гидравлического сопротивления  $\xi$ , длины канала  $L$ , диаметра канала  $d$ , плотности  $\rho$ , вязкости  $\mu$  теплоносителя, скорости течения через канал  $W$ . Сколько безразмерных комплексов можно составить при приведении соотношения к безразмерному виду?
  53. Известно, что при вынужденном движении воды в круглой трубе диаметром 20 мм толщина ламинарного подслоя в пограничном слое составляет 0.5 мм. Каково значение числа Нуссельта?
  54. Как толщина ламинарного гидродинамического пограничного слоя зависит от скорости течения теплоносителя?
  55. Как толщина ламинарного гидродинамического пограничного слоя меняется при удалении от передней кромки канала?
  56. Каково соотношение толщин гидродинамического и теплового пограничных слоев при вынужденном течении воды через обогреваемый канал?
  57. Каково соотношение толщин гидродинамического и теплового пограничных слоев при вынужденном течении жидкого металла через обогреваемый канал?
  58. Слой газа расположен между двумя пластинами, температуры которых  $t_1 > t_2$ . Расчет коэффициента конвекции дал  $\varepsilon_k = 3,5$ . Во сколько раз количество тепла, переносимое в слое за счет конвекции больше количества тепла, переносимого только теплопроводностью?
  59. Какой из трех параметров входит в число Грасгофа?
  60. Зависит ли вид безразмерной формулы для расчета коэффициента теплообмена при свободном движении жидкости от теплофизических свойств среды (числа  $Pr$ )?
  61. Как изменяется коэффициент теплообмена вертикальной пластины по высоте, если  $t_w > t_f$ , а течение предполагается ламинарным?
  62. При каком значении числа Релея ( $Ra$ ) свободное движение воздуха в зазоре между двумя вертикальными пластинами отсутствует?
  63. Верно ли утверждение, что режим течения при свободном движении теплоносителя определяется по числу Рэлея ( $Ra$ )?
  64. При уменьшенной силе тяжести (например, в космическом полете) свободное движение около нагретых поверхностей по сравнению с земными условиями...
  65. Теплообмен в плоских прослойках может рассчитываться по формулам для теплопроводности в плоской стенке при ...
  66. При каком режиме свободного течения около вертикальных поверхностей наступает автотельный режим теплообмена?
  67. Какой размер берется как определяющий при расчете коэффициента теплообмена около вертикального цилиндра?
  68. При расчете теплообмена свободной конвекцией горизонтального цилиндра определяющий размер есть...
  69. При расчете теплообмена в слое газа, заключенного между двумя одинаковыми вертикальными пластинами какой размер выбирается в качестве определяющего?
  70. При какой температуре выбираются теплофизические свойства теплоносителя для расчета теплообмена при турбулентном течении в каналах?

71. При вынужденном поперечном обтекании цилиндрической трубы определяющий размер есть...
72. Теплоноситель движется в кольцевом канале, образованном трубами с диаметрами  $d_2$  (внешний) и  $d_1$  (внутренний). Чему будет равен гидравлический диаметр канала?
73. Что принимается за гидравлический диаметр при течении воздуха в канале, сечение которого представляет собой квадрат стороной « $a$ »
74. Гидравлический диаметр канала прямоугольной формы со сторонами « $b$ » и « $d$ » равен...
75. Можно ли в расчетах коэффициента теплообмена при турбулентном течении в каналах некруглой формы применить формулы в безразмерном виде, полученные для круглой трубы?
76. Гидравлический диаметр центральной ячейки треугольной упаковки пучка твэлов с диаметром « $d$ » и шагом « $s$ » равен...
77. Как соотносятся коэффициенты теплообмена первого и третьего рядов при поперечном обтекании пучка труб
78. Верно ли утверждение, что угол отрыва турбулентного пограничного слоя при поперечном обтекании цилиндра больше, чем угол, при котором происходит отрыв ламинарного пограничного слоя?
79. При поперечном обтекании пучков труб число Нуссельта является функцией безразмерных чисел...
80. Характер движения воздуха и воды на вертикальной трубе радиатора комнатного отопления.
81. Какое влияние оказывает свободное движение на коэффициент теплообмена, если направления свободного и вынужденного ламинарного течений совпадают
82. Как меняется по длине канала средняя по сечению температура жидкости, если плотность теплового потока на стенке меняется, как показано на рисунке?
83. С увеличением скорости при турбулентном течении в трубе коэффициент теплообмена и гидравлическое сопротивление возрастают. В каком соотношении?
84. Интеграл Лайона – решение для стабилизированного теплообмена при турбулентном течении жидкости в круглой трубе. Можно ли, пользуясь интегралом Лайона, рассчитать коэффициент теплообмена при ламинарном течении жидкости в круглой трубе?
85. Как зависит длина пути смешения от расстояния от стенки в теории пограничного слоя Прандтля?
86. Теория Рейнольдса для пограничного слоя в турбулентном потоке иначе называется гидродинамической аналогией. Аналогию каких процессов описывает эта теория?
87. Какое влияние оказывает свободное движение на коэффициент теплообмена при турбулентном течении ( $Re > 10^4$ ) в трубе?

### Вопросы для компьютерного тестирования

#### Тема «Теплопроводность»

1. Как направлен градиент температуры по отношению к изотермической поверхности?
2. Могут ли изотермические поверхности пересекаться?
3. Могут ли изотермические поверхности быть замкнутыми?
4. Размерность коэффициента теплопроводности...
5. Плотность теплового потока на поверхности в стационарных условиях равна...
6. Размерность коэффициента температуропроводности...
7. Минус в записи закона теплопроводности Фурье означает, что
8. Закон теплопроводности Фурье вытекает из...
9. Какая скорость распространения тепла предполагается в гипотезе Фурье?
10. Влияет ли теплоемкость тела на процесс теплопроводности в твердом теле при стационарных условиях?

11. Верно ли, что размерности плотности теплового потока и объемной мощности внутренних источников тепла совпадают?
12. Верно ли, что объемная мощность источников тепла равна дивергенции потока тепла ?
13. Верно ли, что перепад температур и термическое сопротивление плоской стенки прямо пропорциональны?
14. Можно ли вычислить перепад температур в теле, если знать только градиент температуры?
15. Термическое сопротивление цилиндрической стенки ( $d_2 > d_1$ ) ...
16. Термическое сопротивление плоской стенки ....
17. Термическое сопротивление теплопередачи между жидкостями, разделенными стенкой...
18. Если критический диаметр тепловой изоляции больше наружного диаметра цилиндрической стенки, то увеличение толщины тепловой изоляции неизменной температуре воздуха приведет к ...
19. При выборе материала для тепловой изоляции цилиндрической трубы соотношение между критическим диаметром тепловой изоляции  $d_{кр}$  и внешним диаметром трубы  $d_2$ ...
20. Критический диаметр тепловой изоляции рассчитывается, исходя из....
21. Зависит ли результат решения дифференциального уравнения теплопроводности от рода граничных условий?
22. Возможны ли граничные условия I рода на поверхности шара?
23. Анализ нестационарного процесса теплопроводности проводится с помощью уравнения...
24. Теплообмен между кипящей водой и воздухом будет более эффективным, если сделать оребрение со стороны...
25. При оребрении поверхности для интенсификации теплообмена изменение температуры вдоль ребра подчиняется
26. Верно ли, что коэффициент теплопроводности ребер должен быть как можно меньше?
27. Распределение температуры в цилиндрическом топливном стержне при равномерном распределении внутренних источников тепла подчиняется...
28. Можно ли получить безразмерные формулы для расчета поля температуры при охлаждении тела из формул для нагрева тела, если изменить знак?
29. В цилиндрическом топливном стержне максимум температуры находится на оси. Как изменится положение максимума температуры, если на части периметра теплообмен ухудшится?
30. Распределение температуры в трехслойной плоской стенке показано на рисунке. Как соотносятся коэффициенты теплопроводности слоев, если толщины слоев одинаковы?
31. Распределение температуры в пластине с постоянным коэффициентом теплопроводности при заданных температурах на границах подчиняется линейному закону. Как изменится температура в середине пластины, если существует указанная зависимость коэффициента теплопроводности от температуры?
32. При выводе формулы для расчета температуры в твердом теле с переменным коэффициентом теплопроводности используют...
33. Распределение температуры в пластине с постоянным коэффициентом теплопроводности при заданных температурах на границах подчиняется линейному закону. Как изменится температура в середине пластины, если коэффициент теплопроводности увеличивается с ростом температуры?
34. Входит ли один и тот же параметр в число Био и Фурье?
35. Какое физическое свойство вещества содержит в себе число Био?
36. Какое физическое свойство вещества содержит в себе число Фурье?
37. Какое физическое свойство тела можно измерить с помощью регулярного режима?
38. Какова размерность темпа охлаждения?
39. Темп охлаждения зависит от ...

40. Можно ли по диаграммам указанного вида для цилиндра (зависимость безразмерной температуры от чисел Фурье и Био) определить температуру в любой точке цилиндра?
41. Можно ли из дифференциального уравнения теплопроводности рассчитать значение температуры в любой точке твердого тела в любой момент времени?
42. Три тела: пластина толщиной  $2D$ , цилиндр и шар радиуса  $R$  ( $D=R$ ), выполненные из одного материала и имеющие одинаковую начальную температуру охлаждаются в среде с постоянной температурой. Какое из тел будет охлаждаться быстрее?
43. Твердое тело с начальной температурой  $T_0$  охлаждается в среде с температурой  $T_f$ . Изменение температуры тела во времени, представленное на рисунке соответствует значению числа Био
44. Расположите материалы: нержавеющая сталь, двуокись урана, воздух, алюминий, сталь 20, асбест, ртуть по мере возрастания коэффициента теплопроводности (температура  $\sim 20^\circ\text{C}$ )

**Критерии оценивания:** Количество правильных ответов

Оценка	Шкала
Зачтено	Количество верных ответов в интервале: 60-100%
Незачтено	Количество верных ответов в интервале: 0-59%

Программу составила:

\_\_\_\_\_ П.Л.Кириллов, д.т.н., профессор

Рецензент:

\_\_\_\_\_ П.Л.Кириллов, д.т.н., профессор