

Энгельсский технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический  
университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Технология и оборудование химических, нефтегазовых и пищевых  
производств»

**Оценочные материалы по дисциплине**

Б.1.3.4.2 «Математическое моделирование и оптимизация тепло- и  
массообменных процессов нефтегазовых производств»  
направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»  
профиль «Оборудование химических и нефтегазовых производств»

## 1. Перечень компетенций и уровни их сформированности по дисциплинам (модулям), практикам в процессе освоения ОПОП ВО

В процессе освоения образовательной программы у обучающегося в ходе изучения дисциплины «Математическое моделирование и оптимизация тепло- и массообменных процессов нефтегазовых производств» должны сформироваться компетенции: ПК-1.

Критерии определения сформированности компетенций на различных уровнях их формирования

Индекс компетенции	Содержание компетенции
ПК-1	Способен к проведению работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Виды занятий для формирования компетенции	Оценочные средства для оценки уровня сформированности компетенции
ИД-5 <sub>ПК-1</sub> Способен проводить обработку и анализ научно-технической информации в области создания и эксплуатации технологического тепло- и массообменного оборудования химических и нефтегазовых производств.	лекции, практические занятия, самостоятельная работа	Устный опрос, решение задач, вопросы для проведения экзамена, тестовые задания

### Уровни освоения компетенции

Уровень освоения компетенции	Критерии оценивания
Продвинутый (отлично)	Знает: сущность физического и математического моделирования явлений, процессов и технических устройств; основные приемы и методы математического моделирования; основные способы оптимизации технических устройств; математические модели тепло- и массообменных процессов Умеет: составлять простейшие математические модели тепло- и массообменных процессов и установок; определять основные, режимные и конструктивные характеристики оборудования, отвечающие условиям оптимальности Владеет / имеет практический опыт: методами определения оптимальных и рациональных технологических режимов работы оборудования; методами расчета тепловых и массообменных процессов; навыками составления математических моделей
Повышенный (хорошо)	Знает: в достаточной степени сущность физического и математического моделирования явлений, процессов и технических устройств; основные приемы и методы математического моделирования; основные способы

	<p>оптимизации технических устройств; математические модели тепло- и массообменных процессов</p> <p>Умеет:</p> <p>в достаточной степени составлять простейшие математические модели тепло- и массообменных процессов и установок; определять основные, режимные и конструктивные характеристики оборудования, отвечающие условиям оптимальности</p> <p>Владеет/имеет практический опыт:</p> <p>на достаточном уровне методами определения оптимальных и рациональных технологических режимов работы оборудования; методами расчета тепловых и массообменных процессов; навыками составления математических моделей</p>
<p>Пороговый (базовый) (удовлетворительно)</p>	<p>Знает:</p> <p>частично сущность физического и математического моделирования явлений, процессов и технических устройств; основные приемы и методы математического моделирования; основные способы оптимизации технических устройств; математические модели тепло- и массообменных процессов</p> <p>Умеет:</p> <p>на минимально приемлемом уровне составлять простейшие математические модели тепло- и массообменных процессов и установок; определять основные, режимные и конструктивные характеристики оборудования, отвечающие условиям оптимальности</p> <p>Владеет/имеет практический опыт:</p> <p>на минимально приемлемом уровне методами определения оптимальных и рациональных технологических режимов работы оборудования; методами расчета тепловых и массообменных процессов; навыками составления математических моделей</p>

## 2.1 Оценочные средства для текущего контроля

### Вопросы для устного опроса

#### Тема 1. Основные понятия метода моделирования.

1. Дайте определение понятиям «моделирование» и «модель». В чем состоит цель моделирования?
2. Математическое описание поведения объекта - модели и объекта-оригинала с помощью обобщенных переменных. Необходимое и достаточное условие моделируемости.
3. Физическое и математическое моделирование; их содержание и возможности. Роль и место физического и математического моделирования в научных исследованиях и инженерном анализе.
4. Сущность системного подхода при моделировании. Входы (параметры) и выходы объекта моделирования как системы. Стохастические и детерминированные процессы и объекты моделирования.

5. Дайте характеристики основным видам математических моделей (аналитические и эмпирические; микро-, макро- и метауровня; статические и динамические; с сосредоточенными и распределенными параметрами). Сущность и достоинства блочного принципа построения моделей.

6. Этапы и общие принципы построения математических моделей. Физические законы, уравнения и ограничения, используемые при составлении математических моделей.

7. Этапы экспериментального построения математических моделей; роль и место теории подобия и анализа размерностей.

8. Используя анализ размерностей, получите обобщенные переменные, характерные для какого-либо физического процесса.

9. Сущность и методология метода наименьших квадратов, используемого при обработке экспериментальных данных.

10. Способы приведения нелинейных эмпирических уравнений к линейной форме при вычислении постоянных параметров (коэффициентов) уравнений по методу наименьших квадратов. Выполните такое приведение для случая степенной функции.

## **Тема 2. Оптимизация.**

1. Дайте определение понятию «оптимизация». В чем состоит цель оптимизации?

2. Какие этапы включает в себя формулирование задачи оптимизации? Критерий оптимальности; его виды и выбор. Раскройте содержание критерия приведенных годовых затрат для теплообменного аппарата. Три основные требования, предъявляемые к критерию оптимальности.

3. Виды ограничений в задачах оптимизации. Причины наличия ограничений. Ограничения 1-го и 2-го родов.

4. Оптимизирующие факторы; их выбор в зависимости от объема и структуры задачи оптимизации.

5. Целевая функция. Составная целевая функция. Локальный и глобальный экстремумы целевой функции.

6. Сущность метода оптимизации путем дифференцирования целевой функции. Способы исследования экстремума на максимум и минимум. Как учитываются ограничения?

7. Сущность оптимизации методом неопределенных множителей Лагранжа.

8. Оптимизация методом линейного программирования: особенности постановки задачи; графическая интерпретация метода.

9. Особенности и возможности аналитических и численных методов оптимизации. Дайте общую характеристику численных методов оптимизации.

10. Оптимизация методом сканирования: сущность метода; его достоинства и недостатки; величина эффективности.

11. Оптимизация методом дихотомии: сущность метода; его достоинства и недостатки; величина эффективности.

12. Оптимизация методом золотого сечения: сущность метода; его достоинства и недостатки; величина эффективности.

13. Оптимизация методом покоординатного поиска (Гаусса-Зейделя): сущность метода и последовательность действий; его достоинства и недостатки.

14. Оптимизация методом наискорейшего подъема (спуска): сущность метода и последовательность действий; его достоинства и недостатки.

15. Оптимизация перебором.

### **Тема 3. Физические основы моделирования процессов теплопереноса**

1. Механизмы переноса теплоты, импульса и массы в сплошной среде.

2. Феноменологический и статистический пути изучения явлений переноса.

3. Математическое описание конвективного переноса. Гипотезы Фурье, Ньютона, Фика.

4. Дифференциальные уравнения конвективного переноса (общая форма записи).

5. Система уравнений, описывающих движение жидкости и теплообмен. Дифференциальные уравнения движения, энергии и неразрывности при постоянных свойствах жидкости.

6. Особенности записи уравнений переноса при турбулентном течении жидкости. Эффективные коэффициенты переноса.

7. Условия однозначности для процессов конвективного теплообмена.

8. Экспериментальные методы исследования и расчета конвективного переноса

9. Аналитические методы исследования и расчета конвективного переноса

10. Численные методы исследования и расчета конвективного переноса

11. Сравнение методов исследования и расчета конвективного переноса.

### **Тема 4. Аналогия между процессами переноса импульса, теплоты и массы.**

1. Аналогия Рейнольдса.

2. Аналогия между теплообменом и массообменом.

3. Тройная аналогия.

4. Улучшение аналогии Рейнольдса.

5. Границы применимости аналогий.

### **Тема 5. Модели теплового и динамического пограничных слоев.**

1. Понятие о пограничном слое.

2. Физические модели динамического и теплового пограничных слоев, основные характеристики и параметры.

3. Дифференциальные уравнения конвективного переноса в пограничном слое.

4. Уравнение для случаев обтекания пластины и течения в трубе.

5. Решение гидродинамической задачи при ламинарном течении в трубе.

6. Характеристики переноса теплоты в турбулентном пограничном слое.

7. Решение гидродинамической задачи при турбулентном течении в пограничном слое.

8. Универсальный профиль скорости.
9. Зоны турбулентного пограничного слоя.
10. Теплообмен в турбулентном пограничном слое на плоской стенке.
11. Решение дифференциального уравнения энергии для потока жидкости в круглой трубе. Интеграл Лайона.
12. Решение задачи теплообмена при ламинарном течении в трубе.
13. Влияние граничных условий на стенке на число Нуссельта.
14. Решение задачи теплообмена при турбулентном течении в трубе.

## Практические задания для текущего контроля

### Тема 1. Основные понятия метода моделирования.

Задание 1. В горизонтальной трубе с внутренним диаметром 1 см протекает жидкость с плотностью  $900 \text{ кг/м}^3$ . Расход жидкости составляет 28 кг/час, перепад давления потока на участке длиной 6 м имеет величину 180 Па. Определить расчетным путем динамический и кинематический коэффициенты вязкости.

Задание 2. В трубе диаметром 1 см протекает вода при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . На прямом горизонтальном участке трубы длиной 5 м перепад давления потока воды составляет 160 Па. Определить расход воды в трубе.

Задание 3. Определить количество теплоты, необходимое для нагрева 10 кг стали от  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Истинная теплоемкость стали для интервала температур  $0 \div 200 \text{ }^\circ\text{C}$  описывается формулой  $C = 0,1053 + 0,00142t$ , ккал/(кг·К).

Задание 4. В резервуаре имеется 100 л раствора, содержащего 5 кг растворенной соли. Подается чистая вода в количестве 30 л/мин. Одновременно с той же скоростью удаляется раствор. Перемешивание обеспечивает одинаковую концентрацию соли во всем резервуаре. Найти зависимость содержания соли в резервуаре от времени.

Задание 5. Приведите следующие функции к линейному виду:

$$y = ax^2 + bx$$

$$y = e^{bx+cx^2}$$

$$y = \sqrt{ax + b}$$

$$y = \frac{1}{ax^2 + bx}$$

$$y = \frac{1}{\sqrt{ax + b}}$$

$$y = ae^{bx^2}$$

$$y = ax^b$$

Здесь величины  $y$  и  $x$  являются переменными, а параметры  $a$ ,  $b$ ,  $c$  - постоянными неизвестными величинами.

Задание 6. С помощью метода наименьших квадратов определить численные значения эмпирических постоянных  $a$  и  $b$  в зависимости  $y = ax^b$  по следующим данным:

$x_i$	1	2	3
$y_i$	3	12	27

Задание 7. С помощью метода наименьших квадратов определить неизвестные параметры в искомой функции и построить аппроксимирующую зависимость  $y = y(x)$  по приведенным данным.

№ варианта	x				
	1	2	3	4	5
y					
1	2,5	1,75	1,5	1,37	1,3
2	2	11,31	31,18	64	111,79
3	10,5	36,75	128,62	450,19	1575,65
4	4	7,12	8,94	10,24	11,24
5	3	6,5	10	14	19
6	12,5	32	64,5	110	168,5
7	3,16	4,12	4,9	5,57	6,16
8	4,95	8,16	13,46	22,2	36,6
9	21	73,5	257,24	900,4	3151
10	8	14,24	17,88	20,48	22,48
11	5,44	14,8	40,25	109,5	297,77
12	25	64	129	220	347
13	7,5	5,25	4,5	4,11	3,9
14	6	34	93,54	192	336
15	31,5	110,2	386	1350	4727
16	12	21,36	26,82	30,72	33,72
17	166	86,5	57,8	44	36
18	37,5	96	193,5	330	505,5
19	4	5,1	6	6,78	7,48
20	5,5	11,5	21,5	35,5	53,5
21	4,8	19,2	43,2	76,8	120
22	20	40	70	100	150
23	5	6	8	11	15
24	8	6	3	1	0,2

## Тема 2. Оптимизация.

Задание 1. Зависимость стоимости изготовления продукции  $C$ , руб/кг от производительности  $\Pi$ , кг/ч выражена формулой  $C = \Pi^2 - 4\Pi + 10$ . Найдите производительность, при которой стоимость изготовления будет минимальной.

Задание 2. Целевая функция имеет вид  $F = 2x^3 - 24x^2 + 10$ . Найти экстремальное значение функции и чему оно соответствует (максимуму или минимуму).

Задание 3. Расход жидкости (целевая функция) в круглой трубе при постоянной скорости описывается выражением  $G = 54d - 2d^3$ . Найти оптимальное значение диаметра  $d$ , соответствующего максимальному значению расхода  $G$  и минимальному значению расхода  $G$ .

Задание 4. Требуется спроектировать открытый прямоугольный контейнер объемом  $20 \text{ м}^3$  с минимально возможной массой. Задачу решить

методом дифференцирования и методом неопределенных множителей Лагранжа.

Задание 5. Требуется спроектировать закрытый прямоугольный сосуд с днищем, объемом  $32 \text{ м}^3$ , с минимальной площадью поверхности сосуда. Определить оптимальные значения длины и ширины сосуда, если его высота должна составлять 2 м.

Задание 6. Требуется спроектировать открытый цилиндрический сосуд с плоским днищем, объемом  $16 \text{ м}^3$ , с минимальной площадью поверхности сосуда. Определить оптимальные значения диаметра и высоты сосуда.

Задание 7. Требуется спроектировать закрытый цилиндрический сосуд с плоским днищем, объемом  $16 \text{ м}^3$ , с минимальной площадью поверхности сосуда. Определить оптимальные значения диаметра и высоты сосуда.

Задание 8. Для цилиндра с дном и открытого сверху найти соотношение между высотой  $h$  и радиусом  $R$ , при котором площадь поверхности стенок цилиндра объемом  $V$  минимальна.

Задание 9. Требуется спроектировать прямоугольный сосуд из прямоугольного листа со сторонами  $a$  и  $b$ , вырезав углы листа и загнув затем края. Объем сосуда должен быть максимальным

Задание 10. В круглой трубе с внутренним радиусом  $R_2$  расположен цилиндрический стержень радиусом  $R_1$ . По кольцевому зазору между стенкой трубы и стержнем протекает жидкость. При установившемся полностью развитом ламинарном течении жидкости ее расход определяется формулой:

$$G = k \left[ R_2^4 - R_1^4 - \frac{(R_2^2 - R_1^2)^2}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \right],$$

где  $k$  – постоянная (зависит от величины падения давления на единице длины потока, плотности и вязкости жидкости).

Требуется найти значения  $R_1$  и  $R_2$  при которых расход жидкости через зазор с площадью поперечного сечения  $F$  максимален при условии, что  $A \leq R_1 < R_2 \leq B$ . Значения  $A$ ,  $B$  и  $F$  даны в таблице.

№ варианта	$F, \text{ см}^2$	$A, \text{ см}$	$B, \text{ см}$
1	10	2	10
2	15	1	10
3	20	1	12
4	25	2	15
5	30	1	20
6	35	5	30
7	40	4	30
8	45	3	20
9	50	2	25
10	55	1	30
11	10	1	15
12	12	2	15
13	14	1	20
14	16	3	30
15	18	4	30



№ варианта	F, см <sup>2</sup>	A, см	B, см
16	20	2	10
17	22	5	15
18	24	3	25
19	26	4	20
20	28	3	40
21	30	2	20
22	32	1	25
23	19	4	17
24	24	3	25

### Тема 3. Физические основы моделирования процессов теплопереноса

Задание 1. Теплообмен при турбулентном течении воздуха в трубе описан формулой  $Nu = 0,018Re^{0,8}$ . Используя эту формулу постройте зависимость коэффициента теплообмена от диаметра трубы.

Задание 2. В трубе диаметром 4 см и длиной 1,5 м движется вода. Перепад давления потока воды в трубе 1200 Па. Найдите скорость движения воды и величину касательного напряжения на стенке, если коэффициент сопротивления трения потока равен 0,03.

Задание 3. Постройте зависимость числа Прандтля от температуры  $t$  для теплоносителя при  $C_p = \text{const}$ ,  $\rho = \text{const}$ ,  $\nu = a / (b + kt)$ ,  $\lambda = mnt$ , где  $a$ ,  $b$ ,  $k$ ,  $n$  – постоянные величины.

Задание 4. В теплообменном аппарате, имеющего поверхность нагрева  $F$ , жидкость с массовым расходом  $G$  нагревается от  $t_1$  до  $t_2$  греющим паром с температурой насыщения  $t_s$ . Коэффициент теплопередачи  $K$  является известной величиной. Теплофизические свойства воды считать постоянными. Постройте зависимость  $t_2 = f(K, f, G, C_p, \Delta t)$ .

Задание 5. Составить математическую модель газового теплообменника типа «труба в трубе», включающую в себя связи выходных и входных параметров. По внутренней трубе теплообменника диаметром  $d$ , длиной  $l$  и стенкой толщиной  $\delta$  протекает горячий теплоноситель ( $\Gamma$ ). По кольцевому пространству, образованному внутренней трубой и наружной трубой диаметром  $D$  протекает холодный теплоноситель ( $X$ ). Потери теплоты в окружающую среду через стенку наружной трубы считать равными нулю. Термическим сопротивлением стенки внутренней трубы из-за малости можно пренебречь. Входными параметрами в задаче являются названные конструктивные характеристики, а также средние скорости движения горячего  $\omega_\Gamma$  и холодного  $\omega_X$  теплоносителей, коэффициенты теплопроводности  $\lambda_\Gamma$  и  $\lambda_X$ , кинематические коэффициенты вязкости  $\nu_\Gamma$  и  $\nu_X$ , удельные теплоемкости  $C_\Gamma$  и  $C_X$ , плотности  $\rho_\Gamma$  и  $\rho_X$ . Скорости и теплофизические свойства соответствуют средним температурам теплоносителей  $t_{\Gammaн}$  и  $t_{Xн}$ . Выходными параметрами являются конечные температуры теплоносителей  $t_{\Gammaк}$  и  $t_{Xк}$ . Отношение минимальной разности температур теплоносителей к максимальной превышает

величину 0,6. Теплообмен стабилизированный.  $D/d > 5$ .

Условия течения теплоносителей приведены в таблице:

№ варианта	схема течения	Режим течения		тепловое граничное условие на поверхности теплопередачи
		в трубе	в кольцевом пространстве	
1	прямоток	турбулентный	турбулентный	$t_{ст} = const$
2	прямоток	турбулентный	ламинарный	$t_{ст} = const$
3	прямоток	ламинарный	турбулентный	$t_{ст} = const$
4	прямоток	ламинарный	ламинарный	$t_{ст} = const$
5	противоток	турбулентный	турбулентный	$t_{ст} = const$
6	противоток	турбулентный	ламинарный	$t_{ст} = const$
7	противоток	ламинарный	ламинарный	$t_{ст} = const$
8	противоток	ламинарный	турбулентный	$t_{ст} = const$
9	прямоток	турбулентный	турбулентный	$q_{ст} = const$
10	прямоток	турбулентный	ламинарный	$q_{ст} = const$
11	прямоток	ламинарный	турбулентный	$q_{ст} = const$
12	прямоток	ламинарный	ламинарный	$q_{ст} = const$
13	противоток	турбулентный	турбулентный	$q_{ст} = const$
14	противоток	турбулентный	ламинарный	$q_{ст} = const$
15	противоток	ламинарный	турбулентный	$q_{ст} = const$
16	противоток	ламинарный	ламинарный	$q_{ст} = const$
17	прямоток	переходный	ламинарный	$t_{ст} = const$
18	противоток	переходный	турбулентный	$t_{ст} = const$
19	прямоток	переходный	турбулентный	$q_{ст} = const$
20	противоток	переходный	ламинарный	$q_{ст} = const$
21	прямоток	переходный	ламинарный	$q_{ст} = const$
22	противоток	переходный	ламинарный	$t_{ст} = const$
23	прямоток	ламинарный	турбулентный	$t_{ст} = const$
24	противоток	ламинарный	турбулентный	$t_{ст} = const$

#### Тема 4. Аналогия между процессами переноса импульса, теплоты и массы.

Задание 1. Смесь газов состоит из компонентов а, b, с, d, которая характеризуется параметрами при комнатной температуре:

Компонент	Объемная доля, г	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Теплоемкость $C_p$ , кДж/(кг·К)
a	0,6	1,143	0,99
b	0,1	0,723	1,058
c	0,2	0,0513	14,5
d	0,1	0,723	1,045

С целью определения вязкости, теплопроводности и числа Прандтля смеси ее пропустили через гладкую трубу диаметром  $d_{вн} = 1$  см со скоростью  $w = 50$  м/с, при этом зафиксирован перепад давления потока  $\Delta P = 1250$  Па на длине  $l = 1$  м. Определить коэффициент кинематической вязкости, теплопроводности и число Прандтля газовой смеси, используя методы аналогии.

Задание 2. Используя гидротепловую аналогию Рейнольдса, определить

коэффициент теплоотдачи для воздуха в круглой трубе диаметром 200 мм. Расход воздуха -  $0,5 \text{ м}^3/\text{сек}$ , плотность воздуха -  $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ , теплоемкость воздуха -  $1 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ , коэффициент сопротивления трения -  $0,03$ .

Задание 3. Определить критерий Нуссельта при течении газа в круглой трубе диаметром 150 мм, используя гидротепловую аналогию Рейнольдса. Расход газа  $0,15 \text{ м}^3/\text{с}$ , коэффициент кинематической вязкости газа -  $16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , коэффициент температуропроводности газа -  $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Задание 4. При турбулентном течении воздуха в трубе со скоростью 50 м/с коэффициент сопротивления трения составляет величину  $0,032$ . Определить коэффициент массообмена и коэффициент теплообмена для этих условий течения при теплоемкости воздуха  $1 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$  и его плотности  $1 \text{ кг}/\text{м}^3$ . При выполнении расчетов использовать метод аналогии процессов переноса импульса, теплоты и массы.

Задание 5. В трубе диаметром  $d$  и длиной  $l$  протекает турбулентный поток теплоносителя с числом Рейнольдса при средней температуре потока  $Re$ . Определить переданный теплоносителю поток теплоты, если начальная его температура  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ , а температура стенки изменяется по длине трубы по закону:  $t_{ст} = t_{ст}(x)$ . При выполнении расчетов использовать методы гидротепловой аналогии.

№ варианта	d, см	l, м	теплоноситель	Re	$t_{ст} = t_{ст}(x), ^\circ\text{C}$ (x – в метрах)
1	2	3	4	5	6
1	1	1,5	воздух	$10^5$	100
2	2	2	воздух	$10^4$	$50+30x$
3	3	2,5	воздух	$10^6$	$60+20x$
4	4	3	воздух	$2 \cdot 10^5$	$100+10x$
5	5	8	воздух	$10^4$	$40 + 10x + 100 \frac{x}{1+x}$
6	6	10	воздух	$10^4$	$200-5x$
7	7	10	воздух	$10^6$	200
8	8	12	воздух	$10^4$	$100-x$
9	9	15	воздух	$10^5$	$150 - 2x - 10 \frac{x}{1+x}$
10	10	20	воздух	$2 \cdot 10^4$	120
11	1	1,5	вода	$10^5$	80
12	2	2	вода	$5 \cdot 10^3$	70
13	3	2,5	вода	$10^4$	$50+10x$
14	4	3	вода	$2 \cdot 10^4$	$60+8x$
15	5	8	вода	$5 \cdot 10^4$	$70+2x$
16	6	10	вода	$8 \cdot 10^4$	$40+2x$
17	7	10	вода	$10^5$	$90 - \frac{x}{1+x}$
18	8	12	вода	$2 \cdot 10^5$	50
19	9	15	вода	$5 \cdot 10^5$	60
20	10	20	вода	$8 \cdot 10^5$	90
21	10	18	вода	$5 \cdot 10^5$	80
22	2	1,8	воздух	$5 \cdot 10^4$	70

№ варианта	d, см	l, м	теплоноситель	Re	$t_{ст} = t_{ст}(x), ^\circ\text{C}$ (x – в метрах)
23	3	3	воздух	$10^5$	110
24	4	4	воздух	$5 \cdot 10^5$	140

### Тема 5. Модели теплового и динамического пограничных слоев.

Задание 1. Тонкая пластина длиной  $l_0 = 2$  м и шириной  $a = 1,5$  м обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока равны соответственно  $w_0 = 3$  м/с;  $t_0 = 20$  °С. Температура поверхности пластины  $t_n = 90$  °С. Определить средний по длине пластины коэффициент теплоотдачи и количество теплоты, отдаваемой пластиной воздуху.

Задание 2. Плоская пластина длиной  $l = 1$  м обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока воздуха  $w_0 = 80$  м/с;  $t_0 = 10$  °С. Перед пластиной установлена турбулизирующая решетка, вследствие чего движение в пограничном слое на всей длине пластины турбулентное. Вычислить среднее значение коэффициента теплоотдачи с поверхности пластины и значение местного коэффициента теплоотдачи на задней кромке. Вычислить также толщину гидродинамического пограничного слоя на задней кромке пластины.

Задание 3. Вычислить средний коэффициент теплоотдачи при течении трансформаторного масла в трубе диаметром  $d = 8$  мм и длиной  $l = 1$  м, если средняя по длине трубы температура масла  $t_{ж} = 80$  °С, средняя температура стенки трубы  $t_c = 20$  °С и скорость масла  $w = 0,6$  м/с.

Задание 4. По трубам вертикального теплообменника снизу вверх течет вода. Внутренний диаметр труб  $d = 16$  мм; их длина  $l = 1,2$  м. Расход воды через одну трубу  $G = 58$  кг/ч. Температура воды на входе в теплообменник  $t_{ж1} = 30$  °С.

Задание 5. Вода с температурой  $t_{ж1} = 30$  °С поступает в трубу с диаметром  $d = 12$  мм и длиной  $l = 1,2$  м. Определить температуру воды на выходе из трубы, если известно, что расход воды  $G = 0,083$  кг/с и температура внутренней поверхности трубы  $t_c = 60$  °С.

Задание 6. Рассчитать коэффициент теплоотдачи в турбулентной пленке при температуре воды  $t_b = 60$  °С и интервала чисел Рейнольдса  $Re = 2300 \div 14000$ .

### 2.2 Оценочные средства для промежуточного контроля

#### Экзамнационные вопросы

1. Дайте определение понятиям «моделирование» и «модель». В чем состоит цель моделирования?

2. Математическое описание поведения объекта - модели и объекта-оригинала с помощью обобщенных переменных. Необходимое и достаточное условие моделируемости.

3. Физическое и математическое моделирование; их содержание и возможности. Роль и место физического и математического моделирования в научных исследованиях и инженерном анализе.

4. Сущность системного подхода при моделировании. Входы (параметры) и выходы объекта моделирования как системы. Стохастические и детерминированные процессы и объекты моделирования.

5. Дайте характеристики основным видам математических моделей (аналитические и эмпирические; микро-, макро- и метауровня; статические и динамические; с сосредоточенными и распределенными параметрами). Сущность и достоинства блочного принципа построения моделей.

6. Этапы и общие принципы построения математических моделей. Физические законы, уравнения и ограничения, используемые при составлении математических моделей.

7. Этапы экспериментального построения математических моделей; роль и место теории подобия и анализа размерностей.

8. Используя анализ размерностей, получите обобщенные переменные, характерные для какого-либо физического процесса.

9. Сущность и методология метода наименьших квадратов, используемого при обработке экспериментальных данных.

10. Способы приведения нелинейных эмпирических уравнений к линейной форме при вычислении постоянных параметров (коэффициентов) уравнений по методу наименьших квадратов. Выполните такое приведение для случая степенной функции.

11. Дайте определение понятию «оптимизация». В чем состоит цель оптимизации?

12. Какие этапы включает в себя формулирование задачи оптимизации? Критерий оптимальности; его виды и выбор. Раскройте содержание критерия приведенных годовых затрат для теплообменного аппарата. Три основные требования, предъявляемые к критерию оптимальности.

13. Виды ограничений в задачах оптимизации. Причины наличия ограничений. Ограничения 1-го и 2-го родов.

14. Оптимизирующие факторы; их выбор в зависимости от объема и структуры задачи оптимизации.

15. Целевая функция. Составная целевая функция. Локальный и глобальный экстремумы целевой функции.

16. Сущность метода оптимизации путем дифференцирования целевой функции. Способы исследования экстремума на максимум и минимум. Как учитываются ограничения?

17. Сущность оптимизации методом неопределенных множителей Лагранжа.

18. Оптимизация методом линейного программирования: особенности постановки задачи; графическая интерпретация метода.

19. Особенности и возможности аналитических и численных методов оптимизации. Дайте общую характеристику численных методов оптимизации.

20. Оптимизация методом сканирования: сущность метода; его достоинства и недостатки; величина эффективности.
21. Оптимизация методом дихотомии: сущность метода; его достоинства и недостатки; величина эффективности.
22. Оптимизация методом золотого сечения: сущность метода; его достоинства и недостатки; величина эффективности.
23. Оптимизация методом покоординатного поиска (Гаусса-Зейделя): сущность метода и последовательность действий; его достоинства и недостатки.
24. Оптимизация методом наискорейшего подъема (спуска): сущность метода и последовательность действий; его достоинства и недостатки.
25. Оптимизация перебором.
26. Механизмы переноса теплоты, импульса и массы в сплошной среде.
27. Феноменологический и статистический пути изучения явлений переноса.
28. Математическое описание конвективного переноса. Гипотезы Фурье, Ньютона, Фика.
29. Дифференциальные уравнения конвективного переноса (общая форма записи).
30. Система уравнений, описывающих движение жидкости и теплообмен. Дифференциальные уравнения движения, энергии и неразрывности при постоянных свойствах жидкости.
31. Особенности записи уравнений переноса при турбулентном течении жидкости. Эффективные коэффициенты переноса.
32. Условия однозначности для процессов конвективного теплообмена.
33. Экспериментальные методы исследования и расчета конвективного переноса
34. Аналитические методы исследования и расчета конвективного переноса
35. Численные методы исследования и расчета конвективного переноса
36. Сравнение методов исследования и расчета конвективного переноса.
37. Аналогия Рейнольдса.
38. Аналогия между теплообменом и массообменом.
39. Тройная аналогия.
40. Улучшение аналогии Рейнольдса.
41. Границы применимости аналогий.
42. Понятие о пограничном слое.
43. Физические модели динамического и теплового пограничных слоев, основные характеристики и параметры.
44. Дифференциальные уравнения конвективного переноса в пограничном слое.
44. Уравнение для случаев обтекания пластины и течения в трубе.
46. Решение гидродинамической задачи при ламинарном течении в трубе.
47. Характеристики переноса теплоты в турбулентном пограничном слое.
48. Решение гидродинамической задачи при турбулентном течении в

пограничном слое.

49. Универсальный профиль скорости.

50. Зоны турбулентного пограничного слоя.

51. Теплообмен в турбулентном пограничном слое на плоской стенке.

52. Решение дифференциального уравнения энергии для потока жидкости в круглой трубе. Интеграл Лайона.

53. Решение задачи теплообмена при ламинарном течении в трубе.

54. Влияние граничных условий на стенке на число Нуссельта.

55. Решение задачи теплообмена при турбулентном течении в трубе.

### Практические задания для проведения экзамена

Задание 1. С помощью метода наименьших квадратов определить численные значения эмпирических постоянных в зависимости  $y = ae^{bx}$  по следующим данным:

$x_i$	1	2	3
$y_i$	10,9	29,6	80,3

Задание 2. С помощью метода наименьших квадратов определить численные значения эмпирических постоянных в зависимости  $y = ax^2 + b$  по следующим данным:

$x_i$	1	2	3
$y_i$	1	10	25

Задание 3. С помощью метода наименьших квадратов определить численные значения эмпирических постоянных в зависимости  $y = ax^b$  по следующим данным:

$x_i$	1	2	3
$y_i$	2,5	20	67,5

Задание 4. С помощью метода наименьших квадратов определить численные значения эмпирических постоянных в зависимости  $y = \sqrt{ax + b}$  по следующим данным:

$x_i$	1	2	3
$y_i$	3	3,5	3,9

Задание 5. С помощью метода наименьших квадратов определить численные значения эмпирических постоянных в зависимости  $y = ax^2 + bx$  по следующим данным:

$x_i$	1	2	3
$y_i$	2	12	30

Задание 6. С помощью метода наименьших квадратов определить численные значения эмпирических постоянных в зависимости  $y = e^{bx+cx^2}$  по следующим данным:

$x_i$	1	2	3
$y_i$	2,72	1	0,05

Задание 7. С помощью метода наименьших квадратов определить численные значения эмпирических постоянных в зависимости  $y = e^{bx^2}$  по следующим данным:

$x_i$	1	2	3
$y_i$	1,65	7,39	90

Задание 8. Требуется спроектировать закрытый прямоугольный сосуд с днищем, объемом  $16 \text{ м}^3$ , с минимальной площадью поверхности сосуда. Определить оптимальные значения длины и ширины сосуда, если его высота должна составлять 1 м.

Задание 9. Требуется спроектировать открытый прямоугольный сосуд с днищем, объемом  $9 \text{ м}^3$ , с минимальной площадью поверхности сосуда. Определить оптимальные значения длины и ширины сосуда, если его высота должна составлять 1 м.

Задание 10. Требуется спроектировать закрытый цилиндрический сосуд с плоским днищем, объемом  $10 \text{ м}^3$ , с минимальной площадью поверхности сосуда. Определить оптимальные значения диаметра и высоты сосуда.

Задание 11. Требуется спроектировать открытый цилиндрический сосуд с плоским днищем, объемом  $10 \text{ м}^3$ , с минимальной площадью поверхности сосуда. Определить оптимальные значения диаметра и высоты сосуда.

Задание 12. Теплообмен при турбулентном течении в трубах однофазных теплоносителей описывается формулой  $Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,43}$ . В интервале изменения диаметра трубы  $d = 0,01 \div 0,1 \text{ м}$ , найдите оптимальное его значение, соответствующее максимуму коэффициента теплообмена. Расход теплоносителя и его свойства постоянны.

Задание 13. Гидравлическое сопротивление при турбулентном течении однофазного теплоносителя в гладких трубах описывается формулой Блазиуса  $\xi = 0,3164/Re^{0,25}$ . При постоянных расходе и свойствах теплоносителя определите для интервала диаметра трубы  $d = 0,01 \div 0,1 \text{ м}$  оптимальное его значение, соответствующее минимальному значению  $\xi$ .

Задание 14. Гидравлическое сопротивление при ламинарном течении в трубе однофазного теплоносителя описывается формулой Пуазейля  $\xi = 64/Re$ . При постоянных расходе и свойствах теплоносителя для интервала скорости  $w = 0,1 \div 0,7 \text{ м/с}$ , определите оптимальное значение  $w$ , соответствующее минимуму  $\xi$ .

Задание 15. При ламинарном течении в трубе однофазного теплоносителя теплообмен описывается формулой  $Nu = 1,86 Re^{0,33} Pr^{0,33} (d / l)^{0,33}$ . Расход теплоносителя и его свойства постоянны. Длина трубы  $l = \text{const}$ . Для интервала диаметра трубы  $d = 0,005 \div 0,05 \text{ м}$  определите оптимальное значение  $d$ , соответствующее максимуму коэффициента теплообмена  $\alpha$ .

Задание 16. В трубе диаметром 2 см и длиной 2 м движется вода. Перепад давления потока воды в трубе 1000 Па. Найдите скорость движения воды и величину касательного напряжения на стенке, если коэффициент сопротивления трения потока равен 0,03. Плотность воды -  $1000 \text{ кг/м}^3$ .

Задание 17. Определить коэффициент гидравлического сопротивления трения при ламинарном течении жидкости с кинематическим коэффициентом



вязкости  $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$  в круглой трубе диаметром 0,01 м со скоростью 1 м/с.

Задание 18. Определить коэффициент гидравлического сопротивления трения при турбулентном течении жидкости с кинематическим коэффициентом вязкости  $10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  в круглой трубе диаметром 0,01 м со скоростью 1 м/с.

Задание 19. Используя гидротепловую аналогию Рейнольдса, определить коэффициент теплоотдачи для воздуха в круглой трубе диаметром 200 мм. Расход воздуха -  $0,5 \text{ м}^3/\text{сек}$ , плотность воздуха -  $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ , теплоемкость воздуха -  $1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ , коэффициент сопротивления трения - 0,03.

Задание 20. Используя гидротепловую аналогию Рейнольдса, определить критерий Стантона при течении газа в круглой трубе. Критерий Рейнольдса составляет 20000, коэффициент кинематической вязкости газа -  $15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , коэффициент температуропроводности газа -  $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Задание 21. Определить критерий Нуссельта при течении газа в круглой трубе диаметром 150 мм, используя гидротепловую аналогию Рейнольдса. Расход газа  $0,15 \text{ м}^3/\text{с}$ , коэффициент кинематической вязкости газа -  $16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , коэффициент температуропроводности газа -  $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Задание 22. Используя гидротепловую аналогию Рейнольдса, определить критерий Стантона при течении газа в круглой трубе. Критерий Рейнольдса составляет 50000, коэффициент кинематической вязкости газа -  $12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , коэффициент температуропроводности газа -  $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Задание 23. Используя гидротепловую аналогию Рейнольдса, определить коэффициент теплоотдачи для газа в круглой трубе диаметром 150 мм. Расход газа -  $1260 \text{ м}^3/\text{час}$ , плотность газа -  $1 \text{ кг}/\text{м}^3$ , теплоемкость газа -  $900 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ . Критерий Рейнольдса составляет 25000.

Задание 24. Используя гидротепловую аналогию Рейнольдса, определить критерий Нуссельта при течении газа в круглой трубе диаметром 120 мм. Скорость газа 10 м/с, коэффициент кинематической вязкости газа -  $12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , коэффициент температуропроводности газа -  $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Задание 25. В круглой трубе диаметром 100 мм протекает газ в количестве  $1000 \text{ м}^3/\text{час}$ . Режим течения - турбулентный. Плотность газа -  $0,8 \text{ кг}/\text{м}^3$ , теплоемкость газа -  $1,1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ , коэффициент сопротивления трения - 0,025. Определить коэффициент теплоотдачи для газа, используя гидротепловую аналогию Рейнольдса.

Задание 26. В трубу подается турбулентный поток воздуха со скоростью 8 м/с. Коэффициент сопротивления трения 0,032. Определить коэффициент теплообмена, используя гидротепловую аналогию. Свойства воздуха принять постоянными  $C_p = 1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ,  $\rho = 1 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Задание 27. При турбулентном течении воздуха в трубе со скоростью 50 м/с коэффициент сопротивления трения составляет величину 0,032. Определить коэффициент массообмена и коэффициент теплообмена для этих условий течения при теплоемкости воздуха  $1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  и его плотности  $1 \text{ кг}/\text{м}^3$ . При выполнении расчетов использовать метод аналогии процессов переноса импульса, теплоты и массы.

Задание 28. Плоская пластина длиной  $l = 1 \text{ м}$  обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока воздуха  $w = 60$

м/с;  $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вычислить толщину гидродинамического пограничного слоя на задней кромке пластины.

Задание 29. Плоская пластина длиной  $l = 1\text{ м}$  обтекается продольным потоком воды. Скорость и температура набегающего потока воды  $w = 2\text{ м/с}$ ;  $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вычислить толщину гидродинамического пограничного слоя на задней кромке пластины.

Задание 30. Стенка обтекается продольным турбулентным потоком воды. В фиксированном сечении потока касательное напряжение трения на стенке  $\sigma_{\text{ст}} = 0,1\text{ Па}$ . Каковы локальные значения продольной скорости потока на границах вязкого подслоя?

Задание 31. Тонкая пластина длиной  $l = 3\text{ м}$  и шириной  $a = 2\text{ м}$  обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока равны соответственно  $w = 2\text{ м/с}$ ;  $t_0 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура поверхности пластины  $t_{\text{п}} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определить коэффициент теплоотдачи и количество теплоты, отдаваемой пластиной воздуху.

Задание 32. Тонкая пластина длиной  $l = 2\text{ м}$  и шириной  $a = 1\text{ м}$  обтекается потоком воды. Скорость и температура набегающего потока равны соответственно  $w = 1\text{ м/с}$ ;  $t_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура поверхности пластины  $t_{\text{п}} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определить коэффициент теплоотдачи и количество теплоты, отдаваемой пластиной воде.

Оценивание результатов обучения в форме уровня сформированности элементов компетенций проводится путем контроля во время промежуточной аттестации в форме экзамена:

а) оценка «отлично» – компетенция или ее часть сформированы на продвинутом уровне;

б) оценка «хорошо» – компетенция или ее часть сформированы на повышенном уровне;

в) оценка «удовлетворительно» – компетенция или ее часть сформированы на базовом уровне;

г) оценка «не удовлетворительно» – компетенция или ее часть не сформированы.

Оценки «не удовлетворительно» ставятся также в случаях, если обучающийся не приступал к выполнению задания, а также при обнаружении следующих нарушений: списывание; плагиат; фальсификация данных и результатов работы.

Критерии, на основе которых выставляются оценки при проведении текущего контроля и промежуточной аттестации приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Критерии выставления оценок при проведении текущего контроля и промежуточной аттестации

Шкала оценки	Оценка	Критерий выставления оценки
Четырехбалльная шкала	Отлично	Обучающийся глубоко и прочно усвоил весь программный материал, исчерпывающе,

Шкала оценки	Оценка	Критерий выставления оценки
		последовательно, грамотно и логически стройно его излагает, тесно увязывает теорию с практикой. Обучающийся не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с задачами, заданиями и другими видами применения знаний, показывает знания законодательного и нормативно-технического материалов, правильно обосновывает принятые решения, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических работ, обнаруживает умение самостоятельно обобщать и излагать материал, не допуская ошибок
	Хорошо	Обучающийся твердо знает программный материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, может правильно применять теоретические положения и владеет необходимыми навыками при выполнении практических работ
	Удовлетворительно	Обучающийся усвоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении программного материала и испытывает затруднения при выполнении практических работ
	Неудовлетворительно	Обучающийся не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями выполняет практические работы

### 2.3. Итоговая диагностическая работа по дисциплине

#### Задания для диагностической работы по дисциплине (модулю), практике

Компетенции: ПК-1 - Способен к проведению работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований.

Номер задания	Правильный ответ *	Содержание вопроса	Компетенция	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1.	способ изучения процессов, явлений и устройств, при котором исследуется не непосредственно сам объект-оригинал, а некоторая промежуточная вспомогательная система	Дайте понятие моделированию процессов, явлений и устройств	ПК-1	ИД-5 <sub>ПК-1</sub> Способен проводить обработку и анализ научно-технической информации в области создания и эксплуатации технологического тепло- и массообменного оборудования химических и нефтегазовых производств.
2.	$0 < CC < 1$	Как при моделировании объекта должна изменяться степень соответствия (СС) модели и оригинала?		
3.	управляющими факторами (параметрами)	Параметры, на которые можно оказывать прямое воздействие в соответствии с теми или иными требованиями, называются		
4.	модель, отображающая процессы, происходящие в системе со временем	Динамическая модель это		
5.	в) определение условий, обеспечивающих наивысшую эффективность проектных решений и эксплуатационных приемов	Что не входит в состав основных этапов математического моделирования а) составление математического описания изучаемого объекта б) выбор метода решения системы уравнений математического описания и реализация его в форме моделирующей программы		

Номер задания	Правильный ответ *	Содержание вопроса	Компетенция	Код и наименование индикатора достижения компетенции
		в) определение условий, обеспечивающих наивысшую эффективность проектных решений и эксплуатационных приемов г) установления соответствия (адекватности) модели объекту		
6.	б) число Нуссельта	Примером обобщенных переменных является  а) коэффициент теплопередачи б) число Нуссельта в) плотность теплового потока г) коэффициент диффузии		
7.	модель, в которой отсутствует временной параметр	Статическая модель это		
8.	модель и оригинал должны иметь одно и то же математическое описание в некоторой обобщенной системе переменных, допускается различие физической природы изучаемых объектов	Условие моделируемости формулируется следующим образом		
9.	детерминированные	Объекты моделирования, для которых значения выходных параметров и факторов однозначно определяются входными и управляющими факторами и параметрами, называются		
10.	стохастические	Объекты моделирования, для которых велико влияние случайных возмущающих факторов, называются		
11.	которые изменяются случайным образом с течением времени и недоступны для измерения	Какие параметры системы относят к возмущающим факторам?		
12.	б) теоретические (аналитические) и эмпирические (статистические)	По способу получения все математические модели разделяют на		

Номер задания	Правильный ответ *	Содержание вопроса	Компетенция	Код и наименование индикатора достижения компетенции
		а) модели микроуровня, макроуровня и метауровня б) теоретические (аналитические) и эмпирические (статистические) в) статические и динамические г) модели с сосредоточенными параметрами и с распределенными параметрами		
13.	они известны, но возможность воздействия на них в данное время отсутствует	Какие параметры системы относят к контролируемым факторам?		
14.	а) модели микроуровня, макроуровня и метауровня	По степени детализации отображаемых свойств и характеристик объекта модели разделяют на  а) модели микроуровня, макроуровня и метауровня б) теоретические (аналитические) и эмпирические (статистические) в) статические и динамические г) модели с сосредоточенными параметрами и с распределенными параметрами		
15.	г) модели с сосредоточенными параметрами и с распределенными параметрами	По характеру изменения параметров объекта в пространстве различают  а) модели микроуровня, макроуровня и метауровня б) теоретические (аналитические) и эмпирические (статистические) в) статические и динамические		
16.	операция получения наилучших результатов в данных условиях	Под оптимизацией понимают		

Номер задания	Правильный ответ *	Содержание вопроса	Компетенция	Код и наименование индикатора достижения компетенции
17.	входные параметры системы, которые в процессе оптимизации варьируются, остальные параметры при этом не регулируются	Какие параметры системы относят к оптимизирующим факторам?		
18.	зависимость критерия оптимальности от входных параметров объекта	Что определяет целевая функция?		
19.	в) позволяют получить замкнутую систему с числом уравнений, соответствующих числу неизвестных	<p>В чем состоит роль неопределенных множителей Лагранжа</p> <p>а) являются допущениями, значительно упрощающими систему исходных уравнений  б) выступают в качестве ограничений типа равенств  в) позволяют получить замкнутую систему с числом уравнений, соответствующих числу неизвестных  г) выступают в качестве ограничений типа неравенств</p>		
20.	критерий оптимальности должен быть единственным, выражаться числом и изменяться монотонно при изменении оптимизируемых параметров	Каким требованиям должен удовлетворять выбранный критерий оптимальности?		
21.	106 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Используя гидротепловую аналогию Рейнольдса, определить коэффициент теплоотдачи для газа в круглой трубе диаметром 200 мм. Расход газа - 0,5 м <sup>3</sup> /сек, плотность газа - 1 кг/м <sup>3</sup> , теплоемкость газа - 1000 Дж/(кг·К), коэффициент сопротивления трения - 0,03.		

Номер задания	Правильный ответ *	Содержание вопроса	Компетенция	Код и наименование индикатора достижения компетенции
22.	б) градиентный метод	<p>Какой из указанных методов относится к методам многомерного поиска</p> <p>а) метод дихотомии                      б) градиентный метод в) метод сканирования                г) метод золотого сечения</p>		
23.	определение условий, обеспечивающих наивысшую эффективность проектных решений и эксплуатационных приемов	Что является целью инженерной оптимизации технических систем и объектов?		
24.	$\Pi = \mathcal{E} + \frac{K}{T_n},$ <p>где <math>\mathcal{E}</math> - эксплуатационные затраты в течение года; <math>K</math> - капитальные затраты; <math>T_n</math> - нормативный срок окупаемости капитальных затрат</p>	Критерий приведенных годовых затрат определяется по формуле		
25.	$\frac{1}{L} = \frac{L-1}{1}$	При длине интервала $L$ и длине большего отрезка $l$ правило золотого сечения имеет вид		
26.	г) функция имеет излом	<p>Метод покоординатного поиска (Гаусса - Зейделя) не может быть использован, если</p> <p>а) функция задана линейно б) функция монотонно возрастает в) функция монотонно убывает г) функция имеет излом</p>		



Номер задания	Правильный ответ *	Содержание вопроса	Компетенция	Код и наименование индикатора достижения компетенции
27.	б) замене дифференциальных соотношений соответствующими приближенными конечно-разностными аппроксимациями	<p>Численные методы исследования и расчета конвективного переноса основаны на</p> <p>а) дифференцировании целевой функции и поиске экстремума исходя из условий равенства нулю производных  б) замене дифференциальных соотношений соответствующими приближенными конечно-разностными аппроксимациями  в) исследовании физической модели с целью определения коэффициентов переноса  г) представлениях теории подобия конвективного переноса</p>		
28.	0,04	Определите коэффициент сопротивления трения жидкости в круглой трубе при числе Рейнольдса $Re = 1400$ .		
29.	в) $\delta = \frac{(b-a)_{нач.}}{2^{q/2}}$	<p>Эффективность метода дихотомии определяется по зависимости</p> <p>а) <math>\delta = b - a</math>                      б) <math>\delta = \frac{2(b-a)}{q-1}</math>  в) <math>\delta = \frac{(b-a)_{нач.}}{2^{q/2}}</math>                      г) <math>\delta = (b-a)_{нач.} \cdot 0,618^{(q-1)}</math></p>		
30.	7, минимум	Целевая функция имеет вид $F = 2x^2 - 28x$ . Найти экстремум функции и чему он соответствует (максимум или минимум)		
31.	б) $g_i^* = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y}$	<p>Какой формулой описывается гипотеза Фика</p> <p>а) <math>\alpha = \frac{Q}{F\Delta T}</math>                      б) <math>g_i^* = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y}</math></p>		

Номер задания	Правильный ответ *	Содержание вопроса	Компетенция	Код и наименование индикатора достижения компетенции
		в) $\sigma = -\mu \frac{\partial w}{\partial y}$ г) $q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y}$		
32.	г) $q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y}$	Какой формулой описывается гипотеза Фурье а) $\alpha = \frac{Q}{F\Delta T}$ б) $g_i^* = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y}$ в) $\sigma = -\mu \frac{\partial w}{\partial y}$ г) $q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y}$		
33.	в) $\sigma = -\mu \frac{\partial w}{\partial y}$	Какой формулой описывается гипотеза Ньютона а) $\alpha = \frac{Q}{F\Delta T}$ б) $g_i^* = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y}$ в) $\sigma = -\mu \frac{\partial w}{\partial y}$ г) $q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y}$		
34.	эффективные параметры $\mu_{эф}, \nu_{эф}, \lambda_{эф}, D_{эф}^*$	Для турбулентных потоков в уравнения конвективного теплообмена дополнительно включают		
35.	а) $\frac{\partial T}{\partial y}$	Движущей силой переноса теплоты в сплошных средах является а) $\frac{\partial T}{\partial y}$ б) $\frac{\partial w}{\partial y}$ в) $\frac{\partial C^*}{\partial y}$ г) $\frac{\partial F}{\partial y}$		
36.	в) $\frac{\partial C^*}{\partial y}$	Движущей силой переноса массы в сплошных средах является		

Номер задания	Правильный ответ *	Содержание вопроса	Компетенция	Код и наименование индикатора достижения компетенции
		а) $\frac{\partial T}{\partial y}$ б) $\frac{\partial w}{\partial y}$ в) $\frac{\partial C^*}{\partial y}$ г) $\frac{\partial F}{\partial y}$		
37.	б) $\frac{\partial w}{\partial y}$	<p>Движущей силой переноса импульса в сплошных средах является</p> <p>а) <math>\frac{\partial T}{\partial y}</math>      б) <math>\frac{\partial w}{\partial y}</math>      в) <math>\frac{\partial C^*}{\partial y}</math>      г) <math>\frac{\partial F}{\partial y}</math></p>		
38.	б) на представлении о непрерывности материальной среды	<p>Феноменологический путь изучения явлений основан</p> <p>а) на использовании теории молекулярного строения вещества  б) на представлении о непрерывности материальной среды  в) на использовании анализа размерностей  г) на использовании теории подобия</p>		
39.	в) на использовании теории молекулярного строения вещества	<p>Статистический путь изучения явлений основан</p> <p>а) на использовании анализа размерностей  б) на представлении о непрерывности материальной среды  в) на использовании теории молекулярного строения вещества  г) на использовании теории подобия</p>		
40.	$T_{ст} = const$	Укажите выражение для теплового граничного условия первого рода		
41.	$q_{ст} = const$	Укажите выражение для теплового граничного условия второго рода		
42.	$\lambda_m \frac{\partial T_m}{\partial y} \Big _{пов.ст.} = \alpha(T_{ст} - T_{ж})$	Укажите выражение для теплового граничного условия третьего рода		

Номер задания	Правильный ответ *	Содержание вопроса	Компетенция	Код и наименование индикатора достижения компетенции
43.	$q = \alpha(T_{\text{ст}} - T_{\text{ж}})$	Укажите уравнение Ньютона-Рихмана для конвективного теплообмена		
44.	$g^* = \beta(C_{\text{ст}}^* - C_{\text{ж}}^*)$	Укажите уравнение Ньютона-Щукарева для массопереноса в пределах одной фазы от границы раздела в ядро потока		
45.	$\Delta P = \xi \frac{\rho w^2 L}{2 D}$	Укажите уравнение Дарси-Вейсбаха для определения гидравлического сопротивления трения в канале		
46.	г) $\frac{\xi}{8} = \frac{\alpha}{\rho w C_p} = \frac{\beta}{w}$	<p>Какое выражение отражает тройную аналогию (аналогию между процессами переноса импульса, теплоты и массы)</p> <p>а) <math>\alpha = \frac{q_{\text{ст}}}{T_{\text{ж}} - T_{\text{ст}}} = \frac{\sigma_{\text{ст}} C_p}{w}</math>      б) <math>\Delta P = \xi \frac{\rho w^2 L}{2 D}</math></p> <p>в) <math>\frac{1}{\text{Nu}} = 2 \int_0^1 \frac{\left( \int_0^{\tilde{R}} w \tilde{R} d\tilde{R} \right)^2 d\tilde{R}}{\left( 1 + \frac{\lambda_{\text{T}}}{\lambda} \right) \tilde{R}}</math>      г) <math>\frac{\xi}{8} = \frac{\alpha}{\rho w C_p} = \frac{\beta}{w}</math></p>		
47.	а) $\alpha = \frac{q_{\text{ст}}}{T_{\text{ж}} - T_{\text{ст}}} = \frac{\sigma_{\text{ст}} C_p}{w}$	<p>Какое выражение отражает аналогию Рейнольдса</p> <p>а) <math>\alpha = \frac{q_{\text{ст}}}{T_{\text{ж}} - T_{\text{ст}}} = \frac{\sigma_{\text{ст}} C_p}{w}</math>      б) <math>\text{Re} = \frac{w d \rho}{\mu}</math></p> <p>в) <math>\xi = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}</math>      г) <math>\frac{\xi}{8} = \frac{\alpha}{\rho w C_p} = \frac{\beta}{w}</math></p>		

Номер задания	Правильный ответ *	Содержание вопроса	Компетенция	Код и наименование индикатора достижения компетенции
48.	в) $St = \frac{Nu}{Re Pr}$	<p>Связь числа Стантона с числами Нуссельта, Прандтля и Рейнольдса следующая</p> <p>а) <math>St = Nu Re Pr</math>                      б) <math>St = \frac{Pr}{Re Nu}</math></p> <p>в) <math>St = \frac{Nu}{Re Pr}</math>                              г) <math>St = \frac{1}{Nu Re Pr}</math></p>		
49.	в) число Шмидта	<p>Отношение кинематического коэффициента вязкости к коэффициенту диффузии <math>\nu / D^*</math> представляет собой</p> <p>а) число Нуссельта                      б) число Льюиса</p> <p>в) число Шмидта                          г) число Стантона</p>		
50.	б) число Рейнольдса	<p>Критерий, характеризующий гидродинамический режим потока, являясь мерой отношения сил инерции и сил вязкого трения</p> <p>а) число Прандтля                      б) число Рейнольдса</p> <p>в) число Нуссельта                      г) число Стантона</p>		
51.	а) число Прандтля	<p>Критерий, являющийся мерой подобия температурных и скоростных полей в потоке</p> <p>а) число Прандтля                      б) число Рейнольдса</p> <p>в) число Нуссельта                      г) число Стантона</p>		
52.	в) число Нуссельта	<p>Критерий, характеризующий подобие процессов теплопереноса на границе между стенкой и потоком</p> <p>а) число Прандтля                      б) число Рейнольдса</p> <p>в) число Нуссельта                      г) число Стантона</p>		

Номер задания	Правильный ответ *	Содержание вопроса	Компетенция	Код и наименование индикатора достижения компетенции
53.	г) число Льюиса	<p>Отношение коэффициента диффузии <math>D^*</math> к коэффициенту температуропроводности <math>a</math> представляет собой</p> <p>а) число Прандтля                      б) число Шмидта  в) число Нуссельта                      г) число Льюиса</p>		
54.	б) ламинарного потока в трубе	<p>Аналогия между процессами переноса импульса, теплоты и массы не применима для</p> <p>а) турбулентного потока в трубе  б) ламинарного потока в трубе  в) турбулентного течения вдоль плоской стенки  г) ламинарного течения вдоль плоской стенки</p>		
55.	в) число Стантона	<p>Выражение <math>\frac{\xi}{8} = \frac{\alpha}{\rho w C_p}</math> представляет собой</p> <p>а) число геометрического подобия  б) число Льюиса  в) число Стантона  г) число Шмидта</p>		
56.	путь, который проходит турбулентный «моль» от момента его образования до момента разрушения в потоке	<p>Дайте определение длины пути смешения в турбулентном потоке</p>		
57.	область потока, где на движение жидкости оказывает заметное влияние присутствие твердой границы	<p>Пограничным слоем называют</p>		

Номер задания	Правильный ответ *	Содержание вопроса	Компетенция	Код и наименование индикатора достижения компетенции
58.	$Nu = 4,364$	Решение задачи теплообмена при ламинарном течении в трубе при $q_{ст} = const$ определяется зависимостью		
59.	$Nu = 3,658$	Решение задачи теплообмена при ламинарном течении в трубе при $t_{ст} = const$ определяется зависимостью		
60.	99 % от скорости и температуры невозмущенного стенкой потока	Толщиной теплового и динамического пограничных слоев принято считать расстояние от стенки, на котором скорость и температура составляют		
61.	г) $\delta = \frac{Ax}{\sqrt{Re_x}}$	Толщина динамического пограничного слоя рассчитывается по зависимости а) $\delta = \frac{Ax}{\sqrt{Re_x Pr}}$ б) $\delta = \frac{2(b-a)}{q-1}$ в) $\delta = b-a$ г) $\delta = \frac{Ax}{\sqrt{Re_x}}$		
62.	а) $\delta = \frac{Ax}{\sqrt{Re_x Pr}}$	Толщина теплового пограничного слоя рассчитывается по зависимости а) $\delta = \frac{Ax}{\sqrt{Re_x Pr}}$ б) $\delta = \frac{2(b-a)}{q-1}$ в) $\delta = b-a$ г) $\delta = \frac{Ax}{\sqrt{Re_x}}$		
63.	б) $\delta_{вп} = const x^{0,1}$	Толщина вязкого подслоя нарастает по закону		

Номер задания	Правильный ответ *	Содержание вопроса	Компетенция	Код и наименование индикатора достижения компетенции
		а) $\delta_{\text{вп}} = \text{const } x^2$ б) $\delta_{\text{вп}} = \text{const } x^{0,1}$ в) $\delta_{\text{вп}} = \text{const } \frac{x}{2}$ г) $\delta_{\text{вп}} = \text{const } e^x$		
64.	Если начало обогрева (охлаждения) совпадает с входным сечением канала	В каком случае тепловой и динамический пограничные слои формируются одновременно?		
65.	а) расстояние от начала обогрева до смыкания пограничных слоев	Длиной тепловой стабилизации потока в канале называется а) расстояние от начала обогрева до смыкания пограничных слоев б) расстояние от начала обогрева до конца канала в) расстояние от смыкания пограничных слоев до конца канала г) расстояние от смыкания пограничных слоев до середины канала		
66.	$\xi_{\text{тр}} = \frac{64}{\text{Re}}$	В случае ламинарного течения потока в круглой трубе, когда $\text{Re} < 2300$ , коэффициент гидравлического сопротивления трения определяется выражением		
67.	$\text{г) } \frac{1}{\text{Nu}} = 2 \int_0^1 \frac{\left( \int_0^{\tilde{R}} w \tilde{R} d\tilde{R} \right)^2}{\left( 1 + \frac{\lambda_{\text{т}}}{\lambda} \right) \tilde{R}} d\tilde{R} .$	На основе какого выражения получают решения для случаев теплообмена как при ламинарном, так и при турбулентных режимах течения в трубе а) $\alpha = \frac{q_{\text{ст}}}{T_{\text{ж}} - T_{\text{ст}}} = \frac{\sigma_{\text{ст}} C_{\text{п}}}{w}$ ;                      б) $\Delta P = \xi_{\text{тр}} \frac{\rho w^2 L}{2 D}$ ;		



Номер задания	Правильный ответ *	Содержание вопроса	Компетенция	Код и наименование индикатора достижения компетенции
		в) $\alpha = \frac{Q}{F\Delta t}$ ;      г) $\frac{1}{Nu} = 2 \int_0^1 \frac{\left( \int_0^{\tilde{R}} w \tilde{R} d\tilde{R} \right)^2 d\tilde{R}}{\left( 1 + \frac{\lambda_r}{\lambda} \right) \tilde{R}}$ .		
68.	б) $\frac{w_x}{w_{x,max}} = \left( \frac{y}{R} \right)^n$	В практике инженерных расчетов течения в трубах широко применяется степенной закон распределения скорости а) $\frac{\partial w_x}{\partial y} = \frac{w_{x,2} - w_{x,1}}{l_T}$ б) $\frac{w_x}{w_{x,max}} = \left( \frac{y}{R} \right)^n$ в) $\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} = 0$ г) $w_x \frac{\partial T}{\partial x} + w_y \frac{\partial T}{\partial y} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$		
69.	б) $\frac{\delta}{\delta_T} = \sqrt[3]{Pr}$	Толщины динамического и теплового пограничных слоев при $Pr \geq 1$ связаны между собой соотношением а) $\frac{\delta}{\delta_T} = \sqrt{Pr}$ б) $\frac{\delta}{\delta_T} = \sqrt[3]{Pr}$ в) $\frac{\delta}{\delta_T} = \sqrt[5]{Pr}$ г) $\frac{\delta}{\delta_T} = Pr$		
70.	0,128	При ламинарном течении жидкости с кинематическим коэффициентом вязкости $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ в круглой трубе диаметром 0,01 м со скоростью 1 м/с определить коэффициент гидравлического сопротивления трения		

