

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 2 «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,<br>практические занятия,<br>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<br>Умеет: составлять простейшие математические модели тепло- и массообменных процессов и установок; определять основные, режимные и конструктивные характеристики оборудования, отвечающие условиям оптимальности<br>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:<br>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)<br/>(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 (Г). По кольцевому пространству, образованному внутренней трубой и наружной трубой диаметром  $D$  протекает холодный теплоноситель (Х). 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  $\omega_g$  и холодного  $\omega_x$  теплоносителей, коэффициенты теплопроводности  $\lambda_g$  и  $\lambda_x$ , кинематические коэффициенты вязкости  $\nu_g$  и  $\nu_x$ , удельные теплоемкости  $C_g$  и  $C_x$ , плотности  $\rho_g$  и  $\rho_x$ . Скорости и теплофизические свойства соответствуют средним температурам теплоносителей  $t_{гн}$  и  $t_{хн}$ . Выходными параметрами являются конечные температуры теплоносителей  $t_{гк}$  и  $t_{хк}$ . 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             | $t_{ст} = t_{ст}(x), ^\circ\text{C}$<br>(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             | $t_{ст} = t_{ст}(x), ^\circ\text{C}$<br>(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   |
|--------------|---------------------|---|
|              |                     | <p>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</p> |
|              | Хорошо              | <p>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</p>  |
|              | Удовлетворительно   | <p>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</p>  |
|              | Неудовлетворительно | <p>Обучающийся не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями выполняет практические работы</p>  |

## 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<br><br>а) составление математического описания изучаемого объекта<br>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<br>г) установления соответствия (адекватности) модели объекту |             |  |
| 6.            | б) число Нуссельта  | Примером обобщенных переменных является<br>а) коэффициент теплопередачи<br>б) число Нуссельта<br>в) плотность теплового потока<br>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<br>б) теоретические (аналитические) и эмпирические (статистические)<br>в) статические и динамические<br>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<br><br>а) модели микроуровня, макроуровня и метауровня<br>б) теоретические (аналитические) и эмпирические (статистические)<br>в) статические и динамические<br>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<br><br>а) модели микроуровня, макроуровня и метауровня<br>б) теоретические (аналитические) и эмпирические (статистические)<br>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<br/> б) выступают в качестве ограничений типа равенств<br/> в) позволяют получить замкнутую систему с числом уравнений, соответствующих числу неизвестных<br/> 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<br/>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.           | $\Pi = \Xi + \frac{K}{T_n},$ <p>где <math>\Xi</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<br/>б) функция монотонно возрастает<br/>в) функция монотонно убывает<br/>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<br/> б) замене дифференциальных соотношений соответствующими приближенными конечно-разностными аппроксимациями<br/> в) исследовании физической модели с целью определения коэффициентов переноса<br/> 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><br/> 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<br>а) $\alpha = \frac{Q}{F\Delta T}$ б) $g_i^* = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y}$<br>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<br>а) $\alpha = \frac{Q}{F\Delta T}$ б) $g_i^* = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y}$<br>в) $\sigma = -\mu \frac{\partial w}{\partial y}$ г) $q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y}$ |             |  |
| 34.           | эффективные параметры<br>$\mu_{эф}, \nu_{эф}, \lambda_{эф}, D_{эф}^*$ | Для турбулентных потоков в уравнения конвективного теплообмена дополнительно включают  |             |  |
| 35.           | а) $\frac{\partial T}{\partial y}$                                    | Движущей силой переноса теплоты в сплошных средах является<br>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) $\frac{\partial w}{\partial y}$  | Движущей силой переноса импульса в сплошных средах является<br>а) $\frac{\partial T}{\partial y}$ б) $\frac{\partial w}{\partial y}$ в) $\frac{\partial C^*}{\partial y}$ г) $\frac{\partial F}{\partial y}$   |             |  |
| 38.           | б) на представлении о непрерывности материальной среды                                | Феноменологический путь изучения явлений основан<br>а) на использовании теории молекулярного строения вещества<br>б) на представлении о непрерывности материальной среды<br>в) на использовании анализа размерностей<br>г) на использовании теории подобия |             |  |
| 39.           | в) на использовании теории молекулярного строения вещества                            | Статистический путь изучения явлений основан<br>а) на использовании анализа размерностей<br>б) на представлении о непрерывности материальной среды<br>в) на использовании теории молекулярного строения вещества<br>г) на использовании теории подобия     |             |  |
| 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{т}}}{\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<br/> 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<br/> б) ламинарного потока в трубе<br/> в) турбулентного течения вдоль плоской стенки<br/> 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<br/> б) число Льюиса<br/> в) число Стантона<br/> 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<br>а) $\delta = \frac{Ax}{\sqrt{Re_x Pr}}$ б) $\delta = \frac{2(b-a)}{q-1}$<br>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<br>а) $\delta = \frac{Ax}{\sqrt{Re_x Pr}}$ б) $\delta = \frac{2(b-a)}{q-1}$<br>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) $\delta_{\text{вп}} = \text{const } x^{0,1}$<br>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<br>а) расстояние от начала обогрева до смыкания пограничных слоев<br>б) расстояние от начала обогрева до конца канала<br>в) расстояние от смыкания пограничных слоев до конца канала<br>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<br>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<br>а) $\frac{\partial w_x}{\partial y} = \frac{w_{x,2} - w_{x,1}}{l_T}$ б) $\frac{w_x}{w_{x,max}} = \left( \frac{y}{R} \right)^n$<br>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<br>а) $\frac{\delta}{\delta_T} = \sqrt{Pr}$ б) $\frac{\delta}{\delta_T} = \sqrt[3]{Pr}$<br>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  |             |  |

