

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
“ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”

КАФЕДРА «ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕПЛОФИЗИКА»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к практическим заданиям по дисциплине  
«Теория и практика научных исследований»

для студентов, обучающихся по направлению 22.04.02 «Металлургия»,  
магистерские программы «Промышленная теплотехника», «Металлургия  
стали», «Металлургия чугуна», «Электрометаллургия», «Цветная  
металлургия», «Обработка металлов давлением»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
“ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”

КАФЕДРА «ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕПЛОФИЗИКА»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к практическим заданиям по дисциплине  
«Теория и практика научных исследований»

для студентов, обучающихся по направлению 22.04.02 «Металлургия»,  
магистерские программы «Промышленная теплотехника», «Металлургия  
стали», «Металлургия чугуна», «Электрометаллургия», «Цветная  
металлургия», «Обработка металлов давлением»

РАССМОТРЕНО  
на заседании кафедры  
технической теплофизики  
Протокол №12 от 31.05.2018 г.

Донецк – 2018

Рецензент:

Гридин Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем управления ГОУВПО «ДОННТУ»;

Составители:

Бирюков Алексей Борисович – заведующий кафедрой «Технической теплофизикой», профессор, доцент технических наук.

Гнителиев Павел Александрович - кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая теплофизика».

Методические указания для проведения практических занятий и обеспечения СРС по дисциплине "Теория и практика научных исследований" [Электронный ресурс] для студентов, обучающихся по направлению 22.04.02 «Металлургия», магистерские программы «Промышленная теплотехника», «Металлургия стали», «Металлургия чугуна», «Электрометаллургия», «Цветная металлургия», «Обработка металлов давлением» / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф.технической теплофизики; сост. А.Б. Бирюков, П.А. Гнителиев - Электрон.дан. (1 файл: 367 Кб). - Донецк: ДоННТУ, 2018. - Систем. требования AcrobatReader.

Методические указания к практическим заданиям по курсу "Теория и практика научных исследований" содержат разъяснения сущности и содержания всех видов самостоятельной работы студентов (СРС). Приведены условия базовых задач по курсу для обеспечения проведения практических занятий по данной дисциплине.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ВВЕДЕНИЕ

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ "ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ "
2. СРС СВЯЗАННАЯ С ПОДГОТОВКОЙ К АУДИТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ
3. ПОДГОТОВКА К КОНТРОЛЬНЫМ МЕРОПРИЯТИЯМ:  
КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ И ЭКЗАМЕНУ
4. ПРОВЕДЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ
  - 4.1 Практические занятия по теме «Математические Методы Численного Интегрирования»
  - 4.2 Практические занятия по теме «Математические модели теплофизических процессов, выраженные алгебраическими и трансцендентными уравнениями»
  - 4.3 Практические занятие по теме «Математические модели теплофизических процессов, выраженные обыкновенными дифференциальными уравнениями»
  - 4.4 Практические занятия по теме «математические модели теплофизических процессов, выраженные дифференциальными уравнениями в частных производных»
  - 4.5 Практические занятия по теме «Математические методы обработки данных теплофизического эксперимента (корреляционный анализ, дисперсионный анализ, регрессионный анализ)»
  - 4.6 Практические занятия по теме «Основы планирования эксперимента»
5. Перечень тестовых вопросов для самопроверки
6. Перечень рекомендуемой литературы

## ВВЕДЕНИЕ

На практических занятиях по курсу «Теория и практика научных исследований» студенты закрепляют знания, полученные на лекциях и получают практические навыки путем решения задач по соответствующим темам. В ряде задач даются ссылки на номера формул и блок-схем из конспекта лекций по данному курсу, с использованием которых следует решать конкретные задачи.

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов (СРС) занимает очень важное место в учебном процессе. Но успешная организация СРС будет иметь место только в том случае, когда деятельность студента будет четко спланирована и целенаправленна. Объем СРС по каждой учебной дисциплине определяется учебным планом, целью же преподавателя, который планирует СРС является наполнение каждой из рубрик конкретным содержанием. Оно обычно должно быть подчиненным цели, которая ставится при преподавании студентам конкретной дисциплины, и также определяется на основе анализа будущей профессиональной деятельности специалистов конкретной специальности.

Нет сомнений, что детальное ознакомление студента с целью изучения каждой дисциплины и ее место в его будущей профессиональной деятельности, повысит эффективность изучения дисциплины в целом и будет способствовать повышению роли СРС.

## 1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ "ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ "

Дисциплина "Теория и практика научных исследований" является одной из важнейших дисциплин для подготовки магистров по направлению 22.04.02 Metallurgy, потому что она связана с будущей научной и профессиональной деятельностью специалистов этого профиля, а также играет важную роль в проведении научных исследований и подготовке магистерских диссертаций. Данная дисциплина является логическим продолжением дисциплины «Методология и методы научных исследований». Данная дисциплина изучается во 2-ом семестре. По своей смысловой нагрузке она может рассматриваться как спецвопросы к курсу «Методология и методы научных исследований». При этом особое внимание концентрируется на вопросах математического моделирования и использовании методов математической статистики при проведении научных исследований. Дисциплина "Теория и практика научных исследований" также как и «Методология и методы научных исследований» призвана помочь студентам в проведении научных исследований в рамках выполнения их магистерских диссертаций.

В результате освоения дисциплины студент должен:

### **знать**

- основные математические методы численного интегрирования;
- принципы работы с математическими моделями, выраженными алгебраическими и трансцендентными уравнениями;
- принципы работы с математическими моделями, выраженными обыкновенными дифференциальными уравнениями и их системами;
- принципы работы с математическими моделями, выраженными дифференциальными уравнениями в частных производных;
- основы дисперсионного анализа;
- основы корреляционного анализа
- основы планирования эксперимента;
- основы разработки методики проведения экспериментальных исследований в конкретных условиях.

### **уметь**

- составлять и использовать математические модели на базе алгебраических и трансцендентных уравнений;
- составлять и использовать математические модели на базе обыкновенных дифференциальных уравнений и их систем;
- составлять и использовать математические модели на базе дифференциальных уравнений в частных производных;
- пользоваться методами численного интегрирования;
- производить сравнение дисперсий и нескольких выборочных средних;
- проверять наличие статистической связи между данными при помощи методов корреляционного анализа;
- составлять матрицу планирования эксперимента для простейших случаев;

- определять значения коэффициентов регрессии в результате обработки результатов планируемого эксперимента и проверять их значимость;
- разрабатывать методику проведения экспериментальных исследований в конкретных условиях.

## 2 СРС, СВЯЗАННАЯ С ПОДГОТОВКОЙ К АУДИТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ

### *Подготовка к лекциям*

Эта работа состоит из самостоятельного изучения лекционного материала студентом и в ней необходимо выделить следующие аспекты:

- студент должен готовиться к каждой лекции изучая материал предыдущей лекции дома и при необходимости повторяя материалы других лекций;
- необходимо, чтобы студент изучал соответствующий материал не только используя текст лекции, записанной в аудиторных условиях, но и с помощью предложенных учебников;
- студент должен быть готов ответить на вопросы для самопроверки, которые приведены в конце этих методических указаний, соответствующие материалу предыдущей лекции.

### *Подготовка к практическим занятиям*

Содержание этой работы заключается в анализе материалов предыдущих практических занятий:

- необходимо самостоятельно повторить решение задач, которые были рассмотрены;
- проанализировать приведенные технологические схемы и быть готовым дать их характеристику;
- рассмотреть схемы проведения измерений и быть готовым дать им оценку, сделать сравнительный анализ и т.д.

## 3 ПОДГОТОВКА К КОНТРОЛЬНЫМ МЕРОПРИЯТИЯМ: КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ И ЭКЗАМЕНУ

Особенностью контрольных мероприятий является тот факт, что студент на момент его проведения должен усвоить весь материал изложен и рассмотрен до этого. Это касается лекций, материалов практических занятий, материалов, которые были вынесены для самостоятельного изучения, для которых вышел срок отведенный преподавателем на их усвоение. Основным этапом подготовки к контрольным мероприятиям должно стать повторение этих материалов и их комплексный анализ. Полезным этапом подготовки к контрольным мероприятиям является проверка студентом своих знаний с помощью вопросов для самопроверки, приведенных в пятом разделе. Отвечая на эти вопросы, надо достичь высокого уровня теоретической аргументации и глубокого понимания практической стороне вопроса.

## 4 ПРОВЕДЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

### 4.1 Практические занятия по теме «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЧИСЛЕННОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ»

Задача 1. Разработать программу на ПК для расчета работы, осуществляемой при расширении газа, методом Ньютона-Котеса соответственно блок-схеме рис. 1.4. Рассмотреть и сравнить между собой результаты собственных вариантов расчета по методам прямоугольников и трапеций. Коэффициенты ( $a$ ,  $v$ ) Ван-Дер-Ваальса для избранного газа взять из справочника термодинамических свойств веществ.

Задача 2. Разработать программу на ПК для расчета работы, осуществляемой при расширении газа, методами Боде, Уэдля, Чебышева и Гаусса по нескольким внутренним точкам каждого из элементарных интервалов соответственно блок-схеме рис. 4.1. Насколько увеличилась точность расчета в сравнении с предыдущей задачей? Рассмотреть случаи  $m = 10$  и  $m = 100$ .

Задача 3. Разработать программу расчета на ПК для расчета интегральной интенсивности излучения абсолютно черного тела при заданной температуре через несобственный интеграл (1.15) с подынтегральной функцией Планка (1.16), используя блок-схему рис. 1. Сравнить с расчетом по закону Стефана-Больцмана.

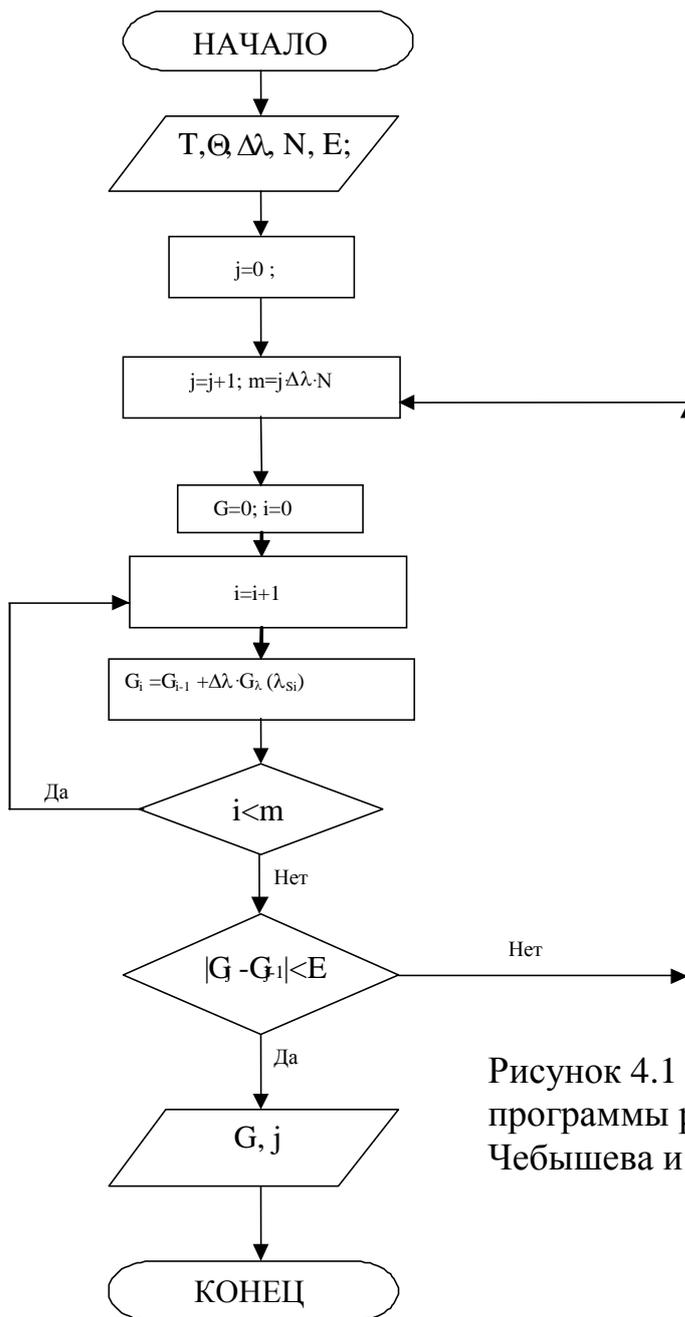


Рисунок 4.1 - Блок-схема программы расчета методом Чебышева и Гаусса

#### **4.2. Практические занятия по теме «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ВЫРАЖЕННЫЕ АЛГЕБРАИЧЕСКИМИ И ТРАНСЦЕНДЕНТНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ»**

Задача 1. Разработать программы на ПК для расчетов удельного объема газа по уравнению Ван-Дер-Ваальса методами простой итерации, половинного деления, хорд, секущих, касательных соответственно предложенным блок-схемам (рис. 2.1, 2.3, 2.5, 2.8).

Задача 2. Температура поверхности выходного коллектора пароперегревателя высокого давления  $t_n = 500^\circ\text{C}$ . Вычислить:

а) тепловые потери с единицы длины неизолированного коллектора путем лучистого теплообмена, если внешний диаметр коллектора  $d=0,275\text{м}$ , коэффициент поглощения  $A_n=0,8$ , а температура ограждения  $t_{O2}=30^\circ\text{C}$ .

б) аналогичные тепловые потери, если поверхность коллектора окружена стальным экраном  $d_e=0,325\text{м}$  с коэффициентом поглощения  $A_e=0,7$ . При этом учесть теплообмен свободной конвекцией между экраном и ограждением ( $\alpha=29\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ ). Передачу теплоты между коллектором и экраном полагать лучистой.

в) то же самое, но в случае, когда стальной экран заменен экраном из алюминиевой фольги того же диаметра с коэффициентом поглощения  $A_e=0,05$ . Уравнение теплового баланса  $f(T_e^4, T_e) = 0$  рассчитать модифицированным методом касательных.

г) температуры поверхности коллектора, алюминиевого экрана и ограждения, если известны температуры пара и окружающей среды с коэффициентами теплопередачи  $\alpha_n$  и  $\alpha_c$ . В расчете использовать метод Ньютона-Рафсона.

#### **4.3. Практические занятие по теме «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ВЫРАЖЕННЫЕ ОБЫКНОВЕННЫМИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ»**

Задача 1. Разработать программу расчета на ПК динамики нагрева термически тонкого тела, находящегося в конвективном теплообмене с окружающей средой, разными методами в соответствии с их блок-схемами (рис. 3.2 - 3.5).

Задача 2. Разработать программу расчета на ПК нестационарного лучистого взаимодействия двух тел, используя блок-схему рис. 3.7.

#### 4.4. Практические занятия по теме «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ВЫРАЖЕННЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ В ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ»

Задача 1. Разработать программу расчета на ПК нестационарного одномерного температурного поля плоской металлической пластины (рис. 4.1) методом прогонки в соответствии с блок-схемой рис. 4.2.

Задача 2. Разработать программу расчета на ПК нестационарного двумерного температурного поля металлического слитка (рис. 4.3) методом переменных направлений в соответствии с математической формулировкой (4.58)-(4.66) и предложенной методикой расчета.

Задача 3. Разработать программу расчета на ПК стационарного двумерного температурного поля металлического слитка (рис. 4.5) итерационным методом переменных направлений в соответствии с блок-схемой рис. 4.6.

#### 4.5. Практические занятия по теме «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА (КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ, ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ, РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ)»

Задача 1. Используя данные табл. 5.1, определить коэффициенты квадратичной зависимости коэффициента теплопроводности металла от температуры по методу наименьших квадратов.

Задача 2. Скорость охлаждения термически тонкого тела может быть выражена уравнением:  $dT/d\tau = \gamma \cdot f(\theta)$ , в котором  $T$  – температура тела;  $\tau$  – время;  $\theta = T - T_c$ ;  $T_c$  – температура холодной среды;  $\gamma$  - коэффициент. Экспериментальные данные приведены в табл.

Таблица

Скорость охлаждения термически тонкого тела

$\theta$	220	200	180	160	140	120	100
$dT/d\tau$	8,81	7,40	6,10	4,89	3,88	3,02	2,30

Допуская, что охлаждение тела происходит по закону Ньютона-Рихмана:  $F(\theta)=\theta$ , определить коэффициент  $\gamma$  и величину невязки

$$\sigma = \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 .$$

**Задача 3.** Используя условия задачи 2, найти значение коэффициентов  $(\gamma, \sigma)$  при условии, что охлаждение тела имеет место по закону Стефана-Больцмана:  $f(\theta)=(\theta + 273)^4 - 273^4$  с температурой холодной среды  $273^\circ\text{K}$ . Сравнить значения  $\sigma$  задач 2 и 3 и определить вид теплообмена (конвективный или лучистый) между телом и средой.

**Пример расчета коэффициента парной корреляции.**

В доменном цехе металлургического завода за определенный период был увеличен расход пылеугольного топлива (ПУТ). При этом для определенного расхода ПУТ были получены следующие значения удельного расхода кокса:

Расход ПУТ, кг/т (x)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Расход кокса, кг/т (y)	536	533	529	525	521	518	514	510	506	503

Требуется определить коэффициент парной корреляции, коэффициент детерминации и значимость коэффициента парной корреляции.

Из исходных данных видно, что имеется  $n$  пар значений. Определим средние арифметические значения для  $x$  и  $y$ , которые составят соответственно  $\bar{x} = 47,5$  кг/т и  $\bar{y} = 519,5$  кг/т. (см табл.).

x	y	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
25	536	-22,5	16,5	-371,25	506,25	272,25
30	533	-17,5	13,5	-236,25	306,25	182,25
35	529	-12,5	9,5	-118,75	156,25	90,25
40	525	-7,5	5,5	-41,25	56,25	30,25
45	521	-2,5	1,5	-3,75	6,25	2,25
50	518	2,5	-1,5	-3,75	6,25	2,25
55	514	7,5	-5,5	-41,25	56,25	30,25
60	510	12,5	-9,5	-118,75	156,25	90,25
65	506	17,5	-13,5	-236,25	306,25	182,25
70	503	22,5	-16,5	-371,25	506,25	272,25
$\bar{x} = 47,5$	$\bar{y} = 519,5$			$\Sigma = -1542,50$	$\Sigma = 2062,50$	$\Sigma = 1154,50$

Подставляем полученные значения в формулу (5.27):

$$r_{xy} = \frac{-1542,50}{\sqrt{2062,50} \cdot \sqrt{1154,50}} = -0,999611 .$$

При заданном уровне значимости  $P=0,95$  и числе степеней свободы  $f=n-2=10 - 2= 8$  значение  $r_{табл}=0,632$ . То есть, гипотеза о корреляционной линейной связи между  $x$  и  $y$  подтверждается, поскольку согласно

$$|r_{расч}| = |-0,999611| > 0,632 = r_{табл}.$$

Определим значимость коэффициента парной корреляции. При заданном уровне значимости  $P=0,95$  и числе степеней свободы  $f=8$  значение  $t_{табл}=2,306$ :

$$t_{расч} = \frac{|0,999611| \cdot \sqrt{10-2}}{\sqrt{1-0,999611^2}} = 101,37 > 2,306 = t_{табл}.$$

Определим коэффициент детерминации

$$r_{xy}^2 = 0,999611^2 \cdot 100 = 99,92\%.$$

т.е. 99,92 % можно объяснить изменением удельного расхода кокса от изменения расхода ПУТ и всего лишь  $100-99,92=0,08\%$  не объясняется данным расчетом (неточность дозирования, колебание влажности материалов, изменение химического состава и т.д.).

### **Пример расчета уравнения регрессии**

В результате испытаний центробежного насоса установлено с равной вероятностью, что создаваемый им напор при соответствующих подачах определяется значениями, приведенными в таблице. Известно также, что напор насоса при его испытаниях измерялся прибором, класс точности и предел измерения которого указаны в таблице.

Установить аналитическую зависимость напора  $H$  от подачи  $Q$ .

$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	Напор насоса $H$ , м. вод. ст., при подаче $Q, \text{ м}^3/\text{ч}$					Класс точности и предел измерения прибора, м. вод. ст.
	10	20	30	40	50	
$H$ , м. вод. ст.	89	86	72	67	50	3.0 100,0

Согласно исходных данных, напор определялся с точностью  $\Delta H_{пред.} = 0,03 \cdot 100 = 3$  м вод.ст.

Предположим, что между  $Q$  и  $H$  существует линейная зависимость вида:

$$\hat{H} = b_0 + b_1 Q.$$

Определим коэффициенты  $b_0$  и  $b_1$ :

$$\begin{cases} b_0 n + b_1 \sum_{u=1}^n Q_u = \sum_{u=1}^n \bar{H}_u; \\ b_0 \sum_{u=1}^n Q_u + b_1 \sum_{u=1}^n Q_u^2 = \sum_{u=1}^n \bar{H}_u Q_u; \end{cases}$$

$$\begin{cases} b_0 + 150b_1 = 364; \\ 50b_0 + 5500b_1 = 89 \cdot 10 + 86 \cdot 20 + 72 \cdot 30 + 67 \cdot 40 + 50 \cdot 50 = 9950; \end{cases}$$

Из первого уравнения системы выражаем  $b_1$ :

$$\begin{aligned} 150b_1 &= 364 - 5b_0; \\ b_1 &= 2,43 - 0,033b_0. \end{aligned}$$

Из второго уравнения определяем  $b_0$  с учетом выражения  $b_1$ , найденного в первом уравнении:

$$\begin{aligned} 150b_0 + 5500(2,43 - 0,033b_0) &= 9950; \\ 150b_0 + 13365 - 181,5b_0 &= 9950; \\ 3415 &= 31,5b_0; \\ b_0 &= 108,4 \text{ м.вод.ст.} \end{aligned}$$

Тогда:

$$b_1 = 2,43 - 0,033 \cdot 108,4 = -1,12 \text{ м.вод.ст.}$$

Таким образом, получаем следующее уравнение:

$$\hat{H} = 108,4 - 1,12Q.$$

Выполним проверку адекватности полученного уравнения, т.е. найдем дисперсию адекватности:

$$\sigma_{ad}^2 = \frac{1}{f_{ad}} \sum_{i=1}^n \left( \bar{H}_i - \hat{H}_i \right)^2,$$

где  $f_{ad} = n - l = 5 - 2 = 3$  – количество степеней свободы;  $n = 5$  – количество опытов;  $l = 2$  – количество коэффициентов в уравнении регрессии.

Дальнейшие расчеты представим в виде следующей таблицы:

$\bar{H}_i$ , м вод.ст.	$\hat{H}_i$ , м вод.ст.	$\left( \bar{H}_i - \hat{H}_i \right)^2$ , м <sup>2</sup> . вод.ст.
89	97,2	67,24
86	86	0
72	74,8	7,84
67	63,6	11,56
50	52,4	5,76
$\Sigma$		92,4

Тогда:

$$\sigma_{ad}^2 = \frac{92,4}{3} = 30,8 \text{ м вод.ст.}$$

Определяем дисперсию воспроизводимости:

$$\sigma_{\epsilon}^2 = \left( \frac{\Delta H_{пред}}{2} \right)^2 = \left( \frac{3}{2} \right)^2 = 2,25 \text{ м}^2 \text{ вод.ст.}$$

Расчетное значение критерия Фишера определим по формуле (6.34):

$$F_{расч.} = \frac{\sigma_{ad}^2}{\sigma_{\epsilon}^2} = \frac{30,8}{2,25} = 13,7.$$

Т.к.  $F_{расч.} = 13,7 > F_{табл.} = 2,61$  (для  $f_{ад} = 3$ ), уравнение неадекватно данному экспериментальному материалу.

Проверим на адекватность уравнение вида:

$$\hat{H} = b_0 + b_1 Q^2.$$

Определим коэффициенты  $b_0$  и  $b_1$ :

$$\begin{cases} b_0 n + b_1 \sum_{u=1}^n Q_u^2 = \sum_{u=1}^n \bar{H}_u; \\ b_0 \sum_{u=1}^n Q_u^2 + b_1 \sum_{u=1}^n Q_u^4 = \sum_{u=1}^n \bar{H}_u Q_u^2; \end{cases}$$

$$\begin{cases} b_0 + 5500b_1 = 364; \\ 500b_0 + 9790000b_1 = 89 \cdot 100 + 86 \cdot 400 + 72 \cdot 900 + 67 \cdot 1600 + 50 \cdot 2500 = 340300; \end{cases}$$

Из первого уравнения системы выражаем  $b_0$ :

$$b_0 = 72,8 - 1100b_1.$$

Из второго уравнения определяем  $b_1$  с учетом выражения  $b_0$ , найденного в первом уравнении:

$$b_1 = -0,01607 \text{ м вод.ст.}$$

Тогда:

$$b_0 = 72,8 + 1100 \cdot 0,01607 = 90,477 \text{ м вод.ст.}$$

Таким образом, получаем следующее уравнение:

$$\hat{H} = 90,477 - 0,01607 Q^2.$$

Выполним проверку адекватности полученного уравнения, т.е. найдем дисперсию адекватности:

$$\sigma_{ad}^2 = \frac{1}{f_{ад}} \sum_{i=1}^n \left( \bar{H}_i - \hat{H}_i \right)^2.$$

Дальнейшие расчеты представим в виде таблицы:

$\bar{H}_i$ , м вод.ст.	$\hat{H}_i$ , м вод.ст.	$\left(\bar{H}_i - \hat{H}_i\right)^2$ , м <sup>2</sup> вод.ст.
89	88,87	0,0169
86	84,049	3,806401
72	76,014	16,1122
67	64,765	4,995225
50	50,302	0,091204
$\Sigma$		25,02193

Тогда:

$$\sigma_{ад}^2 = \frac{25,02193}{3} = 8,34 \text{ м}^2 \text{ вод.ст.}$$

Расчетное значение критерия Фишера:

$$F_{расч.} = \frac{\sigma_{ад}^2}{\sigma_{\delta}^2} = \frac{8,34}{2,25} = 3,707.$$

Так как  $F_{расч.} = 3,707 > F_{табл.} = 2,61$  (для  $f_{ад} = 3$ ), то уравнение неадекватно данному экспериментальному материалу. В таком случае, зная общеизвестную зависимость напора от расхода, можно принять уравнение 2-го порядка в качестве аналитической зависимости между входными и выходными данными для данного эксперимента, при условии, что неадекватность модели будет учтена за счет ввода дополнительного коэффициента.

Экспериментальные данные, а также графики функций  $\hat{H} = 108,4 - 1,12Q$  и  $\hat{H} = 90,48 - 0,016Q^2$  изображены на рисунке 6.1.

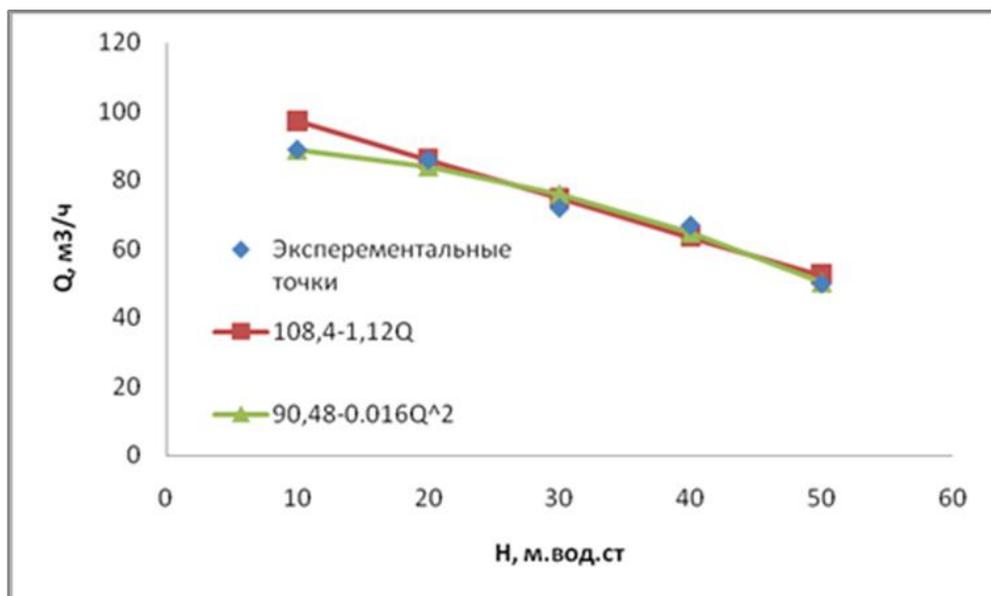


Рисунок 6.1 – График напорных характеристик центробежного насоса

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

### Тема 1. «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЧИСЛЕННОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ»

1. В чем достоинство метода Ньютона-Котеса в сравнении с методами прямоугольников и трапеций?
2. Какая необходимость использования расчета по нескольким внутренним точкам элементарных интервалов?
3. Как проводить расчет несобственных интегралов с бесконечными границами интегрирования (1 рода)?
4. В каком случае лучше использовать метод Ньютона-Котеса, а в каких случаях - методы Чебышева и Гаусса при численном интегрировании несобственных интегралов 2 рода?

### Тема 2. «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ВЫРАЖЕННЫЕ АЛГЕБРАИЧЕСКИМИ И ТРАНСЦЕНДЕНТНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ»

1. Чем реальный газ отличается от идеального? Каков смысл величин ( $a$ ,  $b$ ) в уравнении Ван-Дер-Ваальса?
2. Что геометрически характеризует корень алгебраического и трансцендентного уравнения?
3. Почему важен выбор начальной итерации в методе простой итерации?
4. Что общего в методах хорд и половинного деления?
5. Чем отличается метод секущих от методов хорд и половинного деления?
6. В чем преимущество метода касательных в сравнении с другими методами?
7. Чем вызвана необходимость разработки модифицированного метода касательных?
8. В чем сходство и различие методов расчета системы уравнений рассматриваемого класса от одиночного уравнения?

### Тема 3. «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ВЫРАЖЕННЫЕ ОБЫКНОВЕННЫМИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ»

1. Какое тело является термически тонким?
2. Каковы отличия конвективного теплообмена от теплопроводности?
3. В чем отличие лучистого теплообмена от теплопроводности?
4. Как выбрать начальную итерацию в итерационном методе Эйлера-Коши? Когда завершается итерационный процесс в этом методе?
5. Чем вызвана необходимость использования модифицированного метода Эйлера-Коши?

6. Какова общая характеристика методов Рунге-Кутты?
7. В чем достоинство метода Рунге-Кутты-Мерсона с автоматическим изменением шага?
8. Может ли автоматическое изменение шага использоваться в других методах?
9. Как проводить расчет системы обыкновенных дифференциальных уравнений?
10. Приведите теплофизические примеры, иллюстрирующие необходимость составления системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

#### Тема 4. «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ВЫРАЖЕННЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ В ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ»

1. Какие фундаментальные физические законы лежат в основе вывода дифференциальных уравнений переноса (теплопроводности, диффузии и гидродинамики)?
2. Запишите отдельные варианты уравнения теплопроводности и диффузии: а) среда неподвижная; б) коэффициенты теплопроводности и диффузии можно принять не зависящими от температуры в выбранном ее диапазоне; в) стационарный процесс.
3. В чем сущность тройной аналогии?
4. В чем назначение метода прогонки?
5. Какие параметры необходимы для работы подпрограммы прогонки?
6. Как найти значение коэффициентов  $(x_0, \mu_0)$  и  $(x_n, \mu_n)$  для граничных условий 1, 2 и 3 рода?
7. В чем сущность метода переменных направлений для стационарного и нестационарного процессов переноса?

#### Тема 5. «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА (КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ, ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ, РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ)»

1. Чем обусловлена необходимость использования в расчетах большого количества экспериментальных точек?
2. В чем содержание метода наименьших квадратов?
3. Дать определения средних значений (арифметического, геометрического и гармонического) случайной величины.
4. Что характеризуют дисперсия и среднее квадратичное отклонение?
5. Привести последовательность проведения корреляционного анализа.
6. В чем суть регрессионного анализа?
7. Что характеризуют коэффициенты парной и множественной корреляции?
8. С какой целью в корреляционный анализ вводится критерий Фишера?
9. Каким образом в регрессионном анализе используется критерий Стьюдента?

10. В каком случае в результате проведения корреляционного и регрессионного анализов получают уравнение регрессии (стохастическая математическая модель), адекватное реальному процессу?

Тема 6. «ОСНОВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА»