

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОСТЫВАНИЯ ОБРАЗЦОВ РАЗНЫХ МЕТАЛЛОВ ОДИНАКОВОЙ МАССЫ В ОДИНАКОВЫХ УСЛОВИЯХ ОСТЫВАНИЯ

*И.А. Груднов<sup>1)</sup>, А.В. Паврозин<sup>2)</sup>*

1) студент Армавирского механико–технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Армавир, Россия, [fidjerald63@mail.ru](mailto:fidjerald63@mail.ru)

2) доцент Армавирского механико–технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Армавир, Россия, [pavrosin@mail.ru](mailto:pavrosin@mail.ru)

**Аннотация.** В данной статье рассматривались изменения температуры образцов металлов за отведённый промежуток времени. Приведены результаты вычислений и моделирования их остывания в среде Visual Studio на языке C#.

**Ключевые слова:** металлы, теплоёмкость, температура, интерполяция.

## STUDY OF REGULARITY OF COOLING OF SAMPLES OF DIFFERENT METALS OF THE SAME MASS UNDER THE SAME COOLING CONDITIONS

*I.A. Grudnov<sup>1)</sup>, A.V. Pavrozin<sup>2)</sup>*

1) student of the Armavir Mechanics and Technology Institute (branch) of Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Kuban State Technological University”, city of Armavir, Russia, [fidjerald63@mail.ru](mailto:fidjerald63@mail.ru)

2) Associate Professor of the Armavir Mechanics and Technology Institute (branch) of Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Kuban State Technological University”, city of Armavir, Russia, [pavrosin@mail.ru](mailto:pavrosin@mail.ru)

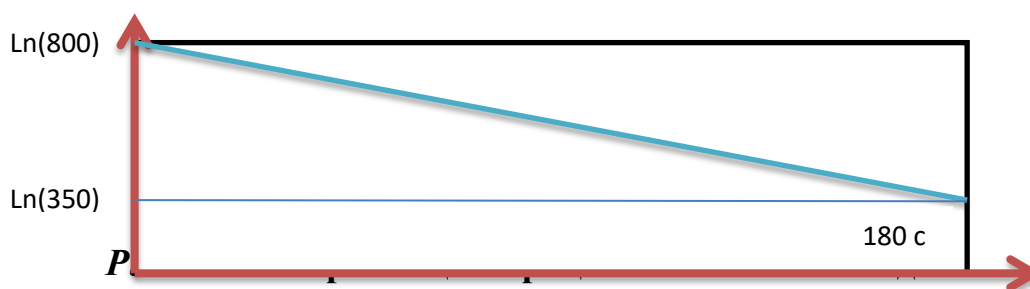
**Annotation.** In this article, the changes in the temperature of metal samples over a given period of time were considered. The results of calculations and modeling of their cooling in the Visual Studio environment in C # are presented.

**Key words:** metals, heat capacity, temperature, interpolation.

Целью нашего исследования было изучение закономерности остывания образцов разных металлов одинаковой массы в одинаковых условиях остывания, сравнение результатов интерполяции с экспериментом. В качестве образцов были приняты медь, железо и алюминий, теплоёмкости которых известны и равны соответственно 400, 460 и 920 (Дж/ кг\*Т), а коэффициенты теплопроводности равны 390, 80,4 и 236 Вт/м<sup>2</sup>.

Для исследуемой функции исходной точкой температуры образцов меди и железа взято значение 800 Кельвин, образца алюминия – 512 Кельвин (так как температура плавления алюминия 550 Кельвин), а конечной – крайнее положительное значение температуры, которое получим в результате вычислений. Обозначим зависимость остывания образцов металлов от времени, приняв крайним значением времени 180 секунд. Когда заданы все условия эксперимента, можно приступить к интерполяции закономерности процесса остывания образцов металлов. Введём граничные условия этой интерполяции.

1. В качестве условий интерполяции примем, что за 180 секунд медный образец остывает от 800 К до 350 К, а также то, что коэффициенты функций остывания данных металлов относятся к их теплоёмкостям как  $K1 / K2 / K3 = C1 / C2 / C3$ .
2. Вычислим коэффициент угла наклона графика зависимости логарифма температуры медного образца от времени, как иллюстрировано на рисунке 1.



**Рис. 1 – Зависимость логарифма температуры медного образца от времени**

Таким образом  $K1 = (\text{Ln}800 - \text{Ln}350) / 180 = 2,5$ , тогда интерполируем промежуточные точки из расчёта  $(800 - y) / x = k1$ , где по оси абсцисс отложен логарифм температуры медного образца, а по оси ординат – время, за которое образец остывает до данной температуры. Т.е.  $y = 800 - 2,5 * x$ .

Рассчитаем коэффициенты для функций остывания других металлов из соотношения

$$K1 / K2 / K3 == C1 / C2 / C3 :$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K1 / K2 = 400 / 460 \\ K2 / K3 = 460 / 920 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 2,5 / K2 = 400 / 460 \\ K2 / K3 = 460 / 920 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} K2 = 2,5 * 460 / 400 \\ K2 = 2,875 \end{array}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 2,5 / 2,875 = 400 / 460 \\ 2,875 / K3 = 460 / 920 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} K3 = 2,875 * 920 / 460 \\ K3 = 5,75 \end{array}$$

Как представлено выше, из известного соотношения коэффициентов остывания и теплоёмкостей металлов можно рассчитать остальные коэффициенты, зная хотя бы один из них. Результаты этих расчётов:

- K1 – для меди = 2,5;
- K2 – для железа = 2,875;
- K3 – для алюминия = 5,75.

Продолжим интерполяцию графиков закономерности остывания образцов, произведя расчёты, аналогичные тем, что выполнены в п. 2 для меди, но уже для железа и алюминия. Полученные результаты вычислений приведены ниже в таблице.

Время, с	Т меди, к	Т железа, к	Т алюминия, к
0	Ln 800	Ln 800	Ln 512
10	Ln 775	Ln 771,25	Ln 454,5
20	Ln 750	Ln 742,5	Ln 397
30	Ln 725	Ln 713,75	Ln 339,5
40	Ln 700	Ln 685	Ln 282
50	Ln 675	Ln 656,25	Ln 224,5
60	Ln 650	Ln 627,5	Ln 167
70	Ln 625	Ln 598,75	Ln 109,5
80	Ln 600	Ln 570	Ln 52
90	Ln 575	Ln 541,25	Ln -5,5
100	Ln 550	Ln 512,5	Ln -63
110	Ln 525	Ln 483,75	Ln -120,5

экспериментом не сравнивалось

120	Ln 500	Ln 455	Ln -178
130	Ln 475	Ln 426,25	Ln -235,5
140	Ln 450	Ln 397,5	
150	Ln 425	Ln 368,75	
160	Ln 400	Ln 340	
170	Ln 375	Ln 311,25	
180	Ln 350	Ln 282,5	

**Рис. 2 – Результаты проведённых вычислений**

Далее нами была написана программа на языке программирования высокого уровня, которая по данным коэффициентам функций производит интерполяцию этих функций, выводит на экран значения температуры металлов через каждые 10 секунд за промежуток времени в 3 минуты и изображает графики этих функций – зависимость температуры образцов металлов от времени.

Ниже приведён листинг программы:

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace Metals
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            // Ввод и вывод данных эксперимента
            Point[] pointsFuncCuprumExper = new Point[181];
            Point[] pointsFuncFerrumExper = new Point[181];
            Point[] pointsFuncAluminExper = new Point[80];
            double yExper = 800, y2Exper = 800, y3Exper = 500;
            Graphics g = pictureBox1.CreateGraphics();
            Point[] pointsFuncCuprum = new Point[181];
```

```
Point[] pointsFuncFerrum = new Point[181];
Point[] pointsFuncAlumin = new Point[90];
int scale = 40;
int graphscale = 2;
Pen redPen = new Pen(Color.Red, 2);
Pen greenPen = new Pen(Color.Green, 2);
Pen bluePen = new Pen(Color.Blue, 2);
Pen blackPen = new Pen(Brushes.Black, 4);
Pen dashPen = new Pen(Color.Gray, 3); dashPen.DashPattern = new float[] {3,3};
Pen expCuprum = new Pen(Color.Red, 3); expCuprum.DashPattern = new float[] { 2, 2 };
Pen expFerrum = new Pen(Color.Green, 3); expFerrum.DashPattern = new float[] { 2, 2 };
Pen expAlumin = new Pen(Color.Blue, 3); expAlumin.DashPattern = new float[] { 2, 2 };
Point KX2, XY, KY2;
XY = new Point(0, pictureBox1.Height);
KX2 = new Point(pictureBox1.Width, pictureBox1.Height);
g.DrawLine(blackPen, XY, KX2);
KY2 = new Point(0, 0);
g.DrawLine(blackPen, XY, KY2);
int x = 0, y = pictureBox1.Height, wordx = 0;
for (int j = pictureBox1.Height; j > 0; j--)
{
    g.DrawString(Convert.ToString(wordx), new Font("Times New
Roman", 12), Brushes.Black, x-5, pictureBox1.Height - 20);
    wordx += scale/2;
    y -= scale; x += scale;
    g.DrawLine(blackPen, x, pictureBox1.Height, x, pictureBox1.Height - 5);
}
// Расчёты координат функций остывания Ln(y),K от t, c
int indent = 10;
double y1 = 800;
double y2 = 800;
double y3 = 512;
double k1 = Convert.ToDouble(textBox2.Text);
double k2 = Convert.ToDouble(textBox3.Text);
double k3 = Convert.ToDouble(textBox4.Text);
int xx = 1;
textBox1.Text = "| T (Cuprum)" + "    |    T (Ferrum)" + "    |    T (Alumin)
|" + Environment.NewLine;
for (int i = 0; i <= 180 ; i++)
{
    if (y1 >= 0)
```

```
        pointsFuncCuprum[i] = new Point(xx * graphscale,  
Convert.ToInt32(pictureBox1.Height - Math.Log(y1/100) * 100 * graphscale));  
        if (y2 >= 0)  
            pointsFuncFerrum[i] = new Point(xx * graphscale,  
Convert.ToInt32(pictureBox1.Height - Math.Log(y2 / 100) * 100 * graphscale));  
        if (y3 > 0)  
            pointsFuncAlumin[i] = new Point(xx * graphscale,  
Convert.ToInt32(pictureBox1.Height - Math.Log(y3 / 100) * 100 * graphscale));  
        if (!(i % indent > 0)) textBox1.Text += "    Ln " + y1 + "        Ln " + y2 + "  
Ln " + y3 + Environment.NewLine;  
        y1 -= k1; y2 -= k2; y3 -= k3;  
        if (i < 181)  
            pointsFuncCuprumExper[i] = new Point(xx * graphscale,  
Convert.ToInt32(pictureBox1.Height - Math.Log(yExper / 100) * 100 * graphscale));  
        if (i < 181)  
            pointsFuncFerrumExper[i] = new Point(xx * graphscale,  
Convert.ToInt32(pictureBox1.Height - Math.Log(y2Exper / 100) * 100 * graphscale));  
        if (y3Exper > 0 && i < 80)  
            pointsFuncAluminExper[i] = new Point(xx * graphscale,  
Convert.ToInt32(pictureBox1.Height - Math.Log(y3Exper / 100) * 100 * graphscale));  
        yExper -= 2.5; y2Exper -= 2.9; y3Exper -= 6;  
        xx++;  
    }  
    g.DrawString("800 K", new Font("Times New Roman", 16), Brushes.Black, 10,  
50);  
    g.DrawString("512 K", new Font("Times New Roman", 16), Brushes.Black, 10,  
140);  
    g.DrawCurve(redPen, pointsFuncCuprum); g.DrawCurve(greenPen,  
pointsFuncFerrum); g.DrawCurve(bluePen, pointsFuncAlumin);  
    g.DrawString("T, K", new Font("Times New Roman", 16), Brushes.Black, 20, 10);  
    g.DrawString("t, c", new Font("Times New Roman", 16), Brushes.Black,  
pictureBox1.Width - 40, pictureBox1.Height - 50);  
    Point punctir = new Point(180 * graphscale, pictureBox1.Height - 5);  
    g.DrawLine(dashPen, pointsFuncCuprum[180], punctir);  
    g.DrawCurve(expCuprum, pointsFuncCuprumExper); g.DrawCurve(expFerrum,  
pointsFuncFerrumExper); g.DrawCurve(expAlumin, pointsFuncAluminExper);  
} } }
```

В левой части окна программа выводит значения температуры остывания образцов металлов, которые получает интерполяцией. В правой же части – изображает графики функций остывания этих металлов, причём сплошными линиями построены функции по данным интерполяции, а

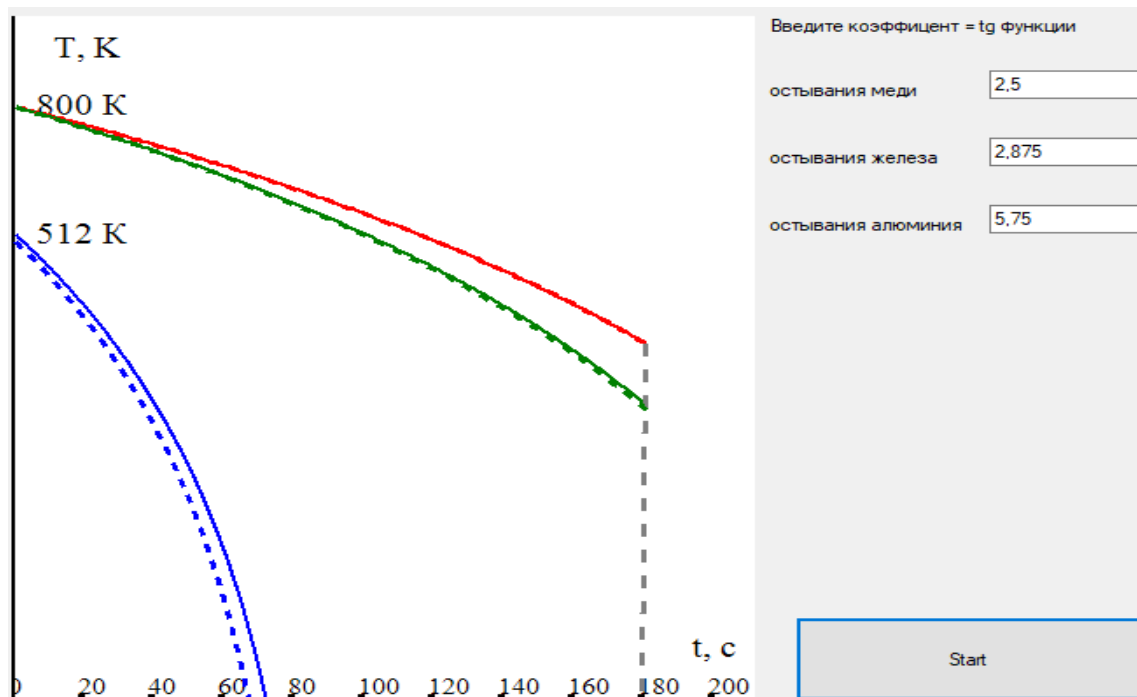
пунктирными линиями – по данным эксперимента. Серая пунктирная линия – крайнее значение времени, равное 180 секундам. В поля справа вводятся коэффициенты функций остывания образцов металлов.

Чтобы проверить соответствие проделанных расчётов эксперименту, сравним значения температуры меди, железа и алюминия, рассчитанные нашей программой и полученные из эксперимента. Далее слева представлены значения интерполяции, справа – эксперимента.

			Данные эксперимента			
T (Cuprum)	T (Ferrum)	T (Alumin)	Время, с	Т меди, к	Т железа, к	Т алюминия, к
Ln 800	Ln 800	Ln 512	0	Ln 800	Ln 800	Ln 500
Ln 775	Ln 771,25	Ln 454,5	10	Ln 775	Ln 771	<u>Ln 442</u>
Ln 750	Ln 742,5	Ln 397	20	Ln 750	Ln 742	<u>Ln 384</u>
Ln 725	Ln 713,75	Ln 339,5	30	Ln 725	Ln 713	<u>Ln 326</u>
Ln 700	Ln 685	Ln 282	40	Ln 700	Ln 685	<u>Ln 298</u>
Ln 675	Ln 656,25	Ln 224,5	50	Ln 675	Ln 656	<u>Ln 240</u>
Ln 650	Ln 627,5	Ln 167	60	Ln 650	Ln 627	<u>Ln 182</u>
Ln 625	Ln 598,75	Ln 109,5	70	Ln 625	Ln 598	<u>Ln 124</u>
Ln 600	Ln 570	Ln 52	80	Ln 600	Ln 570	<u>Ln 66</u>
Ln 575	Ln 541,25	Ln -5,5	90	Ln 575	Ln 541	
Ln 550	Ln 512,5	Ln -63	100	Ln 550	Ln 512	
Ln 525	Ln 483,75	Ln -120,5	110	Ln 525	Ln 483	
Ln 500	Ln 455	Ln -178	120	Ln 500	Ln 455	
Ln 475	Ln 426,25	Ln -235,5	130	Ln 475	Ln 426	
Ln 450	Ln 397,5	Ln -293	140	Ln 450	Ln 397	
Ln 425	Ln 368,75	Ln -350,5	150	Ln 425	Ln 368	
Ln 400	Ln 340	Ln -408	160	Ln 400	Ln 340	
Ln 375	Ln 311,25	Ln -465,5	170	Ln 375	Ln 311	
Ln 350	Ln 282,5	Ln -523	180	Ln 350	Ln 282	

**Рис. 3 – Сравнение интерполяции с экспериментом**

с небольшой погрешностью, значит, интерполяция выполнена верно, а, следовательно, мы имеем право делать вывод о связи скоростей остывания образцов разных металлов одинаковой массы в одинаковых условиях на основе анализа полученных теоретических и экспериментальных данных и графиков. Для наглядности приведём графики остывания металлов (рис. 4). Пунктирными линиями изображены функции остывания образцов металлов, полученные по данным эксперимента, сплошными линиями – по данным интерполяции.



**Рис. 4–** Графики изменения температуры образцов разных металлов

Каждый металл определён коэффициентом угла наклона его функции остывания. Из расчёта коэффициентов с помощью их отношения к теплоёмкостям металлов, делаем вывод, что, чем выше коэффициент, тем больше соответствующая теплоёмкость, следовательно, тем быстрее металл остывает.

В ходе проведённого исследования были получены следующие результаты:

1) Теоретически и экспериментально исследована закономерность процесса остывания нескольких образцов металлов одинаковой массы в одинаковых условиях остывания.

2) Произведены расчёты изменения температур металлов в зависимости от времени.

3) Решение интерполяции и моделирования остывания образцов металлов выполнено в среде Visual Studio на языке C#.

4) Выявлена возможность создания программ, моделирующих изменение характеристик металлов за конкретный промежуток времени, таких как, например, температура, для последующего их изучения и анализа.

**Список использованных источников:**



IV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов,  
преподавателей «ПРИКЛАДНЫЕ ВОПРОСЫ ТОЧНЫХ НАУК»

---

IV International Scientific Practical Conference of graduate and postgraduate students,  
lecturers «APPLIED ISSUES OF EXACT SCIENCES»

13-14 November 2020, Armavir

1. Герберт Шилдт. Полный справочник по C# Пер. с англ. – М. : Издательский дом "Вильяме", 2014. – 752 с. : ил. – Парал. тит. Англ
2. Павловская Т. А. C#. Программирование на языке высокого уровня. Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2009. – 432 с: ил.