

Министерство образования и науки Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра промышленной электроники

Н.С. Легостаев

МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Методические указания по выполнению
лабораторных работ

Томск 2015

Легостаев Н.С.

Материалы электронной техники: методические указания по выполнению лабораторных работ / Н.С. Легостаев – Томск: Факультет дистанционного обучения, ТУСУР, 2015. – 17 с.

Представлены рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Для студентов, обучающихся по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» с профилем «Промышленная электроника» с использованием дистанционных образовательных технологий.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ	4
1.1 Цель работы	4
1.2 Краткие сведения из теории	4
1.3 Порядок проведения работы	6
2 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОВОДИМОСТИ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ	6
2.1 Цель работы	6
2.2 Краткие сведения из теории	7
2.3 Порядок проведения работы	8
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Пример оформления отчета по лабораторной работе №1	9
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Пример оформления отчета по лабораторной работе №2	14

1 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1 Цель работы

- ◆ Определение удельного сопротивления проводниковых материалов и его зависимости от температуры.
- ◆ Вычисление температурного коэффициента удельного сопротивления.

1.2 Краткие сведения из теории

Формально к проводникам относят материалы с удельным электрическим сопротивлением $\rho < 10^{-5}$ Ом · м. Проводниковые материалы подразделяют на две группы: материалы высокой проводимости и материалы высокого удельного сопротивления.

Основной характеристикой материалов электронной техники является удельная электропроводность - σ [Сименс/м], как коэффициент пропорциональности между плотностью тока j (А/м²) и напряженностью электрического поля E [В/м] в законе Ома $j = \sigma \cdot E$. Удельная электропроводность зависит только от свойств материала. Для оценки электропроводности материала широко используется удельное электрическое сопротивление $\rho = \frac{1}{\sigma}$ [Ом · м].

Для определения удельного электрического сопротивления материала находят полное электрическое сопротивление образца известной геометрии, а затем рассчитывают $\rho = R \frac{S}{l}$, где R – полное электрическое сопротивление образца; S – площадь поперечного сечения образца; l – длина образца.

Относительное изменение удельного электрического сопротивления металлов при изменении температуры характеризует *температурный коэффициент удельного сопротивления* α_ρ (чаще используют обозначение ТК _{ρ}):

$$\alpha_{\rho} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dT}.$$

Температурный коэффициент удельного сопротивления TK_{ρ} характеризует относительное изменение удельного электрического сопротивления при изменении температуры на один градус и имеет размерность, обратную температуре.

К проводниковым материалам высокой проводимости предъявляют ряд требований - *малое удельное сопротивление, достаточно высокая механическая прочность, удовлетворительная коррозионная стойкость, хорошая обрабатываемость, относительная легкость пайки и сварки*, основным из которых является малое удельное сопротивление.

К проводниковым материалам высокой проводимости принято относить материалы с величиной удельного сопротивления $\rho < 0,1$ мкОм · м . В электронной технике основным материалом высокой проводимости является медь (Cu, $\rho = 0,017$ мкОм · м). После меди второй по значимости материал высокой проводимости – алюминий (Al, $\rho = 0,028$ мкОм · м). Серебро (Ag) – металл с наиболее высокой электропроводностью из всех проводниковых материалов ($\rho = 0,015$ мкОм · м).

К материалам высокой проводимости также относят сплавы на основе меди (латуни и бронзы), золото (Au, $\rho = 0,025$ мкОм · м), платину (Pt, $\rho = 0,098$ мкОм · м), вольфрам (W, $\rho = 0,055$ мкОм · м), молибден (Mo, $\rho = 0,05$ мкОм · м), родий (Rh, $\rho = 0,043$ мкОм · м), иридий (Ir, $\rho = 0,054$ мкОм · м) и другие металлы.

К материалам высокого удельного сопротивления относят материалы, у которых ρ не менее $0,3$ мкОм · м .

К материалам высокого удельного сопротивления предъявляют ряд требований – *высокое удельное сопротивление ρ , малый температурный коэффициент удельного сопротивления α_{ρ} , малая термо-э.д.с. в паре с медью,*

достаточная прочность, высокая пластичность, основным из которых является высокое удельное сопротивление.

1.3 Порядок проведения работы

Экспериментальная установка состоит из печи, термометра, образцов проводниковых материалов. Электрическое сопротивление измеряется омметром. Исследуемый образец выполнен в виде проволоки с известными геометрическими размерами.

В ходе работы необходимо выполнить ряд действий:

1.3.1 Измерить сопротивление образца при температуре 20°C .

1.3.2 Включить нагрев печи и фиксировать сопротивления образца при повышении температуры внутри печи до 220°C с дискретностью в 5°C .

1.3.3 Рассчитать для каждой температуры удельное электрическое сопротивление.

1.3.4 Построить график зависимости $\rho = f T$.

1.3.5 Построить график зависимости $\alpha_{\rho} = f T$.

1.3.6 Определить материал исследуемого образца, используя графики $\rho = f T$ и $\alpha_{\rho} = f T$.

1.3.7 Оформить отчет по работе (см. приложение 1).

2 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОВОДИМОСТИ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

2.1 Цель работы

◆ Определение зависимости сопротивления диэлектриков от температуры.

◆ Определение энергии активации проводимости.

2.2 Краткие сведения из теории

К диэлектрикам относят такие вещества, в которых: может существовать электрическое поле; проводимость при нормальных условиях обычно ниже, чем 10^{-10} См/м; ширина запрещенной зоны больше ~ 3 эВ (для кристаллов); токи электрического смещения превышают токи электропроводности. С точки зрения электродинамики диэлектрик представляет собой среду, в которой происходит распространение, накопление и рассеяние электрической энергии. Распространение электромагнитных волн в диэлектрике замедляется в $\sqrt{\epsilon}$ раз. Накопление энергии в диэлектрике пропорционально величине ϵ (электрический конденсатор), а рассеяние энергии представляет собой потери, характеризуемые параметром $\epsilon \cdot \text{tg}\delta$.

В зависимости от типа носителей заряда в диэлектриках наблюдается либо электронная, либо ионная проводимость.

Удельная проводимость диэлектрика:

$$\gamma = qn\mu,$$

где q – заряд свободного носителя; n – концентрация свободных носителей заряда; μ – подвижность свободных носителей заряда.

Удельное электрическое сопротивление образца диэлектрика определяется по формуле

$$\rho = R \frac{S}{h},$$

где S – площадь поперечного сечения образца диэлектрика; h – толщина диэлектрика.

При электронной и ионной проводимости с ростом температуры удельная проводимость диэлектрика возрастает по закону экспоненты:

$$\gamma = A \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right), \quad (2.1)$$

где A – коэффициент пропорциональности, не зависящий от температуры;

E – энергия активизации; k – постоянная Больцмана; T – температура образца диэлектрика, градус Кельвина.

Логарифм выражения (2.1) представляет уравнение прямой линии в координатах $\ln \gamma$ и $\frac{1}{T}$. Угол наклона этой прямой к оси $\frac{1}{T}$ определяется энергией активации E . Если в электропроводности участвуют два вида ионов, например примесные и собственные, то зависимость $\ln \gamma = f\left(\frac{1}{T}\right)$ имеет два прямолинейных участка.

2.3 Порядок проведения работы

2.3.1 Образец диэлектрика поместить в печь, включить нагрев печи и фиксировать сопротивления образца диэлектрика через каждые $10^{\circ}C$. Заканчивать измерения следует после того, как температура в печи перестанет расти.

2.3.2 Рассчитать удельную проводимость для каждого значения температуры по формуле $\gamma = \frac{h}{R \cdot S}$.

2.3.3 Рассчитать для каждого измерения значения $\frac{1}{T} = \frac{1}{(t + 273)}$.

2.3.4 Рассчитать для каждого измерения значения $\ln \sigma$.

2.3.5 Построить график $\ln \gamma = f\left(\frac{1}{T}\right)$.

2.3.6 По точкам, принадлежащим каждому участку, построить прямые по методу наименьших квадратов (линии тренда).

2.3.7 Рассчитать энергию активации E , полученное значение энергии активации в Дж перевести в эВ.

2.3.8 Оформить отчет по работе (см. приложение 2).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Пример оформления отчета по лабораторной работе №1

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Отчет по лабораторной работе
по дисциплине «Материалы электронной техники»

Выполнил студент
специальности 11.03.04
группа з-364У-б, поток 76
Иванов Иван Иванович
26.11.2015

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение удельного сопротивления проводниковых материалов и его зависимости от температуры; вычисление температурного коэффициента удельного сопротивления.

2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Для проведения эксперимента необходимо следующее оборудование: измерительный прибор для фиксации величины сопротивления металлического образца (омметр); лабораторная печь для обеспечения равномерного нагрева образца в диапазоне от 20 до 220 С; термометр для фиксации температуры в нужном диапазоне; исследуемый образец в виде проволоки фиксированной длины и диаметра.

Удельное сопротивление рассчитывается по формуле:

$$\rho = R \cdot \frac{S}{l}$$

где R – сопротивление проволоки;
 S – площадь сечения проволоки;
 l – длина проволоки.

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \text{ для проволоки диаметром } d.$$

Температурный коэффициент удельного сопротивления определяется выражением:

$$\alpha_{\rho} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta \rho}{\Delta T}$$

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследуемый образец металлической проволоки неизвестного состава имеет длину 1,5 м и диаметр 0,3 мм.

Результаты эксперимента и расчетные данные приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Экспериментальные и расчетные результаты

T, °C	R, Ом	ρ , мкОм*м	$\alpha\rho$, град ⁻¹
20	0,36	0,01696	0,00413
25	0,37	0,01744	0,00401
30	0,38	0,01791	0,00391
35	0,39	0,01838	0,00381
40	0,39	0,01838	0,00381
45	0,40	0,01885	0,00371
50	0,41	0,01932	0,00362
55	0,42	0,01979	0,00354
60	0,42	0,01979	0,00354
65	0,43	0,02026	0,00345
70	0,44	0,02073	0,00338
75	0,45	0,02121	0,00330
80	0,46	0,02168	0,00323
85	0,46	0,02168	0,00323
90	0,47	0,02215	0,00316
95	0,48	0,02262	0,00309
100	0,49	0,02309	0,00303
105	0,50	0,02356	0,00297
110	0,50	0,02356	0,00297
115	0,51	0,02403	0,00291
120	0,52	0,02450	0,00286
125	0,53	0,02498	0,00280
130	0,53	0,02498	0,00280
135	0,54	0,02545	0,00275
140	0,55	0,02592	0,00270
145	0,56	0,02639	0,00265
150	0,57	0,02686	0,00261
155	0,57	0,02686	0,00261
160	0,58	0,02733	0,00256
165	0,59	0,02780	0,00252
170	0,60	0,02827	0,00248
175	0,61	0,02875	0,00244
180	0,61	0,02875	0,00244
185	0,62	0,02922	0,00240
190	0,63	0,02969	0,00236
195	0,64	0,03016	0,00232
200	0,64	0,03016	0,00232
205	0,65	0,03063	0,00229
210	0,66	0,03110	0,00225
215	0,67	0,03157	0,00222
220	0,68	0,03204	0,00218

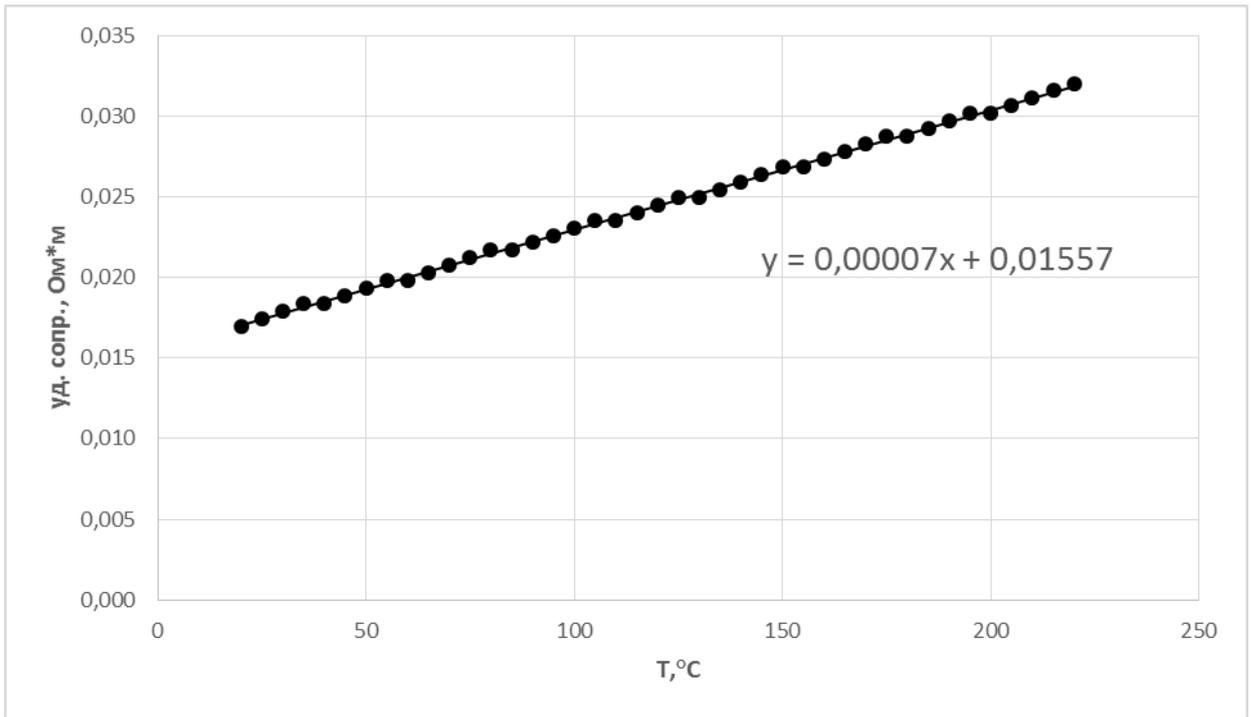


Рисунок 3.1 – Зависимость удельного сопротивления от температуры (точки) и линия тренда (сплошная линия)

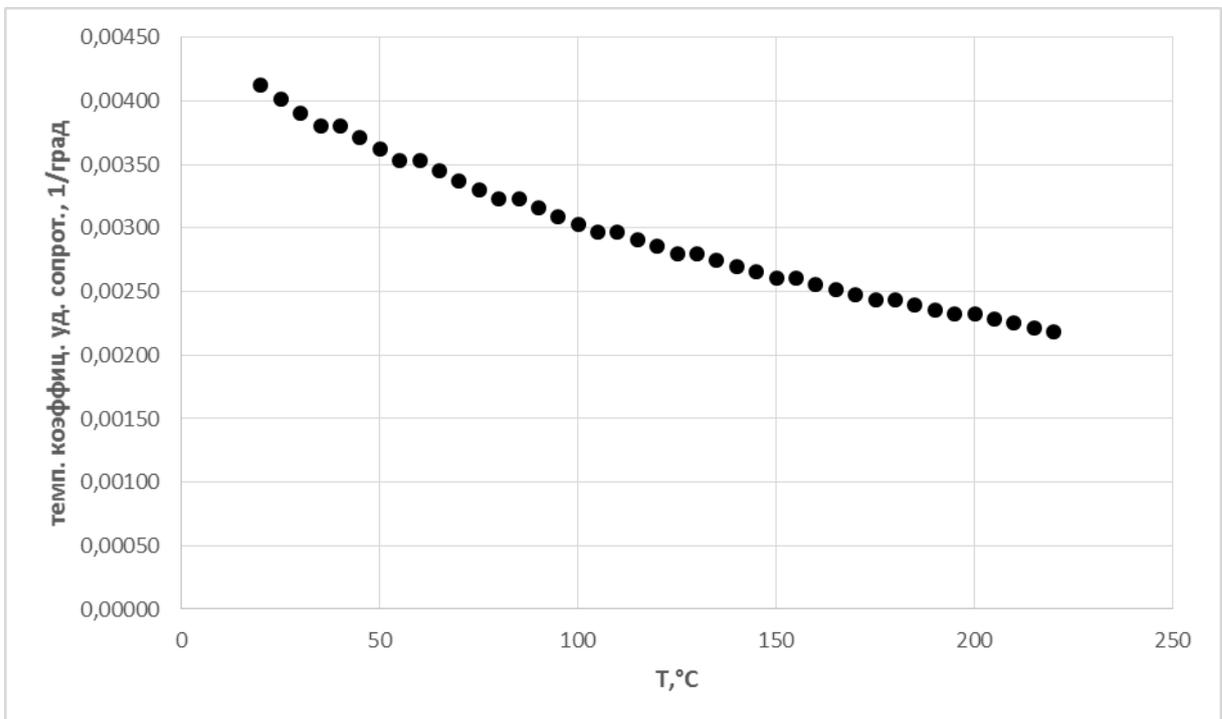


Рисунок 3.2 – Зависимость температурного коэффициента удельного сопротивления от температуры

4 ВЫВОДЫ

4.1 Удельное сопротивление образца линейно возрастает при увеличении температуры от 20 до 220 С.

4.2 Температурный коэффициент удельного сопротивления уменьшается при увеличении температуры в том же диапазоне.

4.3 При температуре 20 С удельное сопротивление образца $\rho = 0,01696$ мкОм·м, температурный коэффициент удельного сопротивления $\alpha_\rho = 0,00413$ град⁻¹.

4.4 Материал образца — медь (справочные данные: $\rho = 0,0168$ мкОм·м, $\alpha_\rho = 0,00433$ град⁻¹).

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Пример оформления отчета по лабораторной работе №2

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ
ПРОВОДИМОСТИ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ**

Отчет по лабораторной работе
по дисциплине «Материалы электронной техники»

Выполнил студент
специальности 11.03.04
группа з-364У-б, поток 76
Иванов Иван Иванович
26.11.2015

Нефтеюганск 2015

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение зависимости сопротивления диэлектриков от температуры и определение энергии активации проводимости.

2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Для проведения эксперимента необходимо следующее оборудование: измерительный прибор, способный измерять очень большие величины сопротивления диэлектрического образца (тераомметр); лабораторная печь для обеспечения равномерного нагрева образца вплоть до 500°C; термометр для фиксации температуры в нужном диапазоне; исследуемый образец в виде пластины диэлектрика с нанесенными металлическими электродами.

Удельная проводимость рассчитывается по формуле:

$$\gamma = \frac{h}{R \cdot S},$$

где R – сопротивление диэлектрика;

S – площадь электрода;

h – толщина диэлектрика.

Энергия активации определяется по формуле:

$$E = -K \cdot k,$$

где k – постоянная Больцмана ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж · К⁻¹);

K – коэффициент перед x в уравнении линии тренда ($y = Kx + b$).

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Образец – диэлектрическая пластина из материала стеатит. Толщина 1,1 мм, площадь электрода 45 мм².

Результаты эксперимента и расчетные данные приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1– Экспериментальные и расчетные результаты

$T, ^\circ\text{C}$	$R \times 10^{10}, \text{Ом}$	$\gamma \times 10^{-10},$ $\text{Ом} \cdot \text{м}^{-10}$	$\frac{1}{T}, \text{K}^{-1}$	$\ln \gamma$
50	310	0,079	0,0200	-30,2
55	210	0,116	0,0182	-29,8
60	130	0,188	0,0167	-29,3
65	85	0,288	0,0154	-28,9
70	57	0,429	0,0143	-28,5
75	36	0,679	0,0133	-28,0
80	24	1,02	0,0125	-27,6
85	14	1,75	0,0118	-27,1
90	9,7	2,52	0,0111	-26,7
95	6,2	3,94	0,0105	-26,3
100	3,6	6,79	0,0100	-25,7
110	1,4	17,5	0,0091	-24,8
120	0,63	38,8	0,0083	-24,0
130	0,33	74,1	0,0077	-23,3
140	0,19	129	0,0071	-22,8
150	0,13	188	0,0067	-22,4
160	0,092	266	0,0063	-22,0
170	0,067	365	0,0059	-21,7
180	0,05	489	0,0056	-21,4
200	0,031	789	0,0050	-21,0
220	0,023	1063	0,0045	-20,7
240	0,021	1164	0,0042	-20,6
260	0,017	1438	0,0038	-20,4
280	0,014	1746	0,0036	-20,2
300	0,011	2222	0,0033	-19,9
320	0,0099	2469	0,0031	-19,8
340	0,0089	2747	0,0029	-19,7
360	0,0076	3216	0,0028	-19,6
380	0,0067	3648	0,0026	-19,4
400	0,0061	4007	0,0025	-19,3
420	0,0059	4143	0,0024	-19,3
440	0,0051	4793	0,0023	-19,2
460	0,0047	5201	0,0022	-19,1
480	0,0045	5432	0,0021	-19,0
500	0,0043	5685	0,0020	-19,0

Угловые коэффициенты графиков 33 уравнения линии тренда:

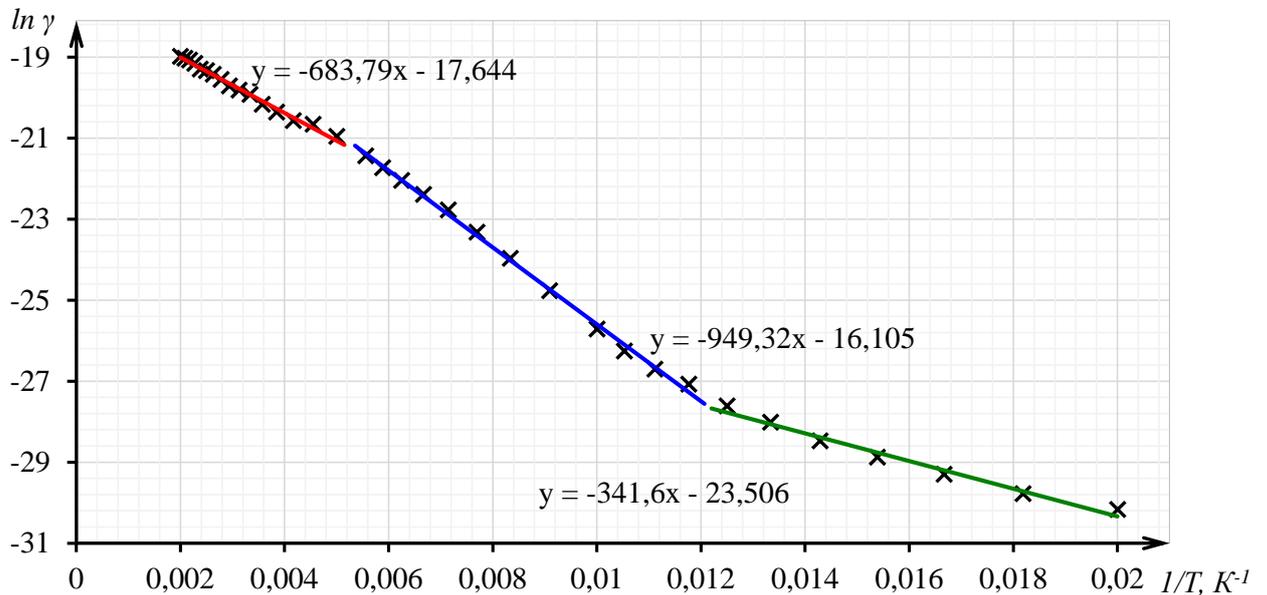
$$K_1 = -341,6; K_2 = -949,3; K_3 = -683,8.$$

Следовательно:

$$E_1 = 341,6 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} = 4,71 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} = 0,0295 \text{ эВ},$$

$$E_2 = 949,3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} = 1,31 \cdot 10^{-20} \text{ Дж} = 0,0819 \text{ эВ},$$

$$E_3 = 683,8 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} = 9,44 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} = 0,0590 \text{ эВ}.$$



4 ВЫВОДЫ

4.1 Удельная проводимость стеатита возрастает при увеличении температуры от 50 до 500 °С.

4.2 Удельная проводимость стеатита при $T = 50^\circ\text{C}$ равна $7,89 \cdot 10^{-14} \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$.

4.3. Энергия активации в диапазоне температур: от 50 до 80°С равна 0,0295 эВ, от 85 до 180°С равна 0,0819 эВ, от 200 до 500°С равна 0,0590 эВ.