МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа аэрокосмических технологий

Отчет о выполнении лабораторной работы 1.1.1

Определение удельного сопротивления

нихромовой проволоки

Губарев Никита, Б03-502

8 сентября 2025 г.

**Оглавление**

[**Аннотация** 2](#_Toc208350651)

[**Теоретические сведения** 2](#_Toc208350652)

[**Методика измерений** 3](#_Toc208350653)

[**Оборудование и инструментальные погрешности** 3](#_Toc208350654)

[**Результаты измерений и обработка данных** 4](#_Toc208350655)

# **Аннотация**

В работе измеряется удельное сопротивление тонкой проволоки круглого сечения, изготовленной из нихромового сплава. Исследуются различные способы рассчитать сопротивление куска проволоки. Выявляются способы с наименьшим сопротивлением.

# **Теоретические сведения**

Удельное сопротивление однородной проволоки круглого сечения:

(1)

Где R – сопротивление проволоки, d – ее диаметр, l – длина.

Согласно закону Ома:

Где U – напряжение, I – сила тока, R – сопротивление.

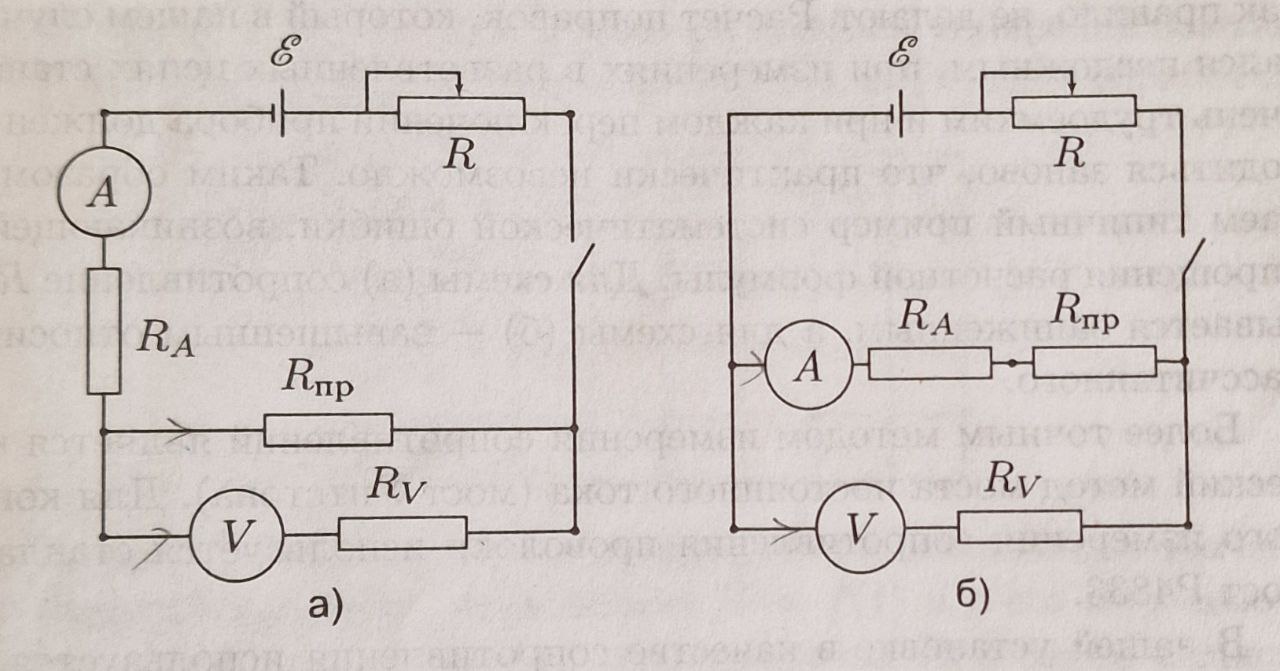
Для измерения напряжения и амперметра было предложено две схемы (Рис. 1):

В первой схеме сопротивление проволоки будет измерено по формуле:

Во второй:

Где и – сопротивления рассчитанное по данным с приборов по закону Ома, – сопротивление амперметра – сопротивление вольтметра.

Будем считать, что измеренное сопротивление в порядке 5 Ом. Сопротивление вольтметра 500 Ом, сопротивление амперметра 1,2 Ом. Тогда , значит первая схема имеет меньшую расчетную поправку и вместе с этим меньшую погрешность. Тогда для дальнейших измерений будем использовать именно ее.

 Рис. 1

# **Методика измерений**

1. Измерить диаметр проволоки при помощи штангенциркуля и микрометра. Сравнить значения, выбрать среднее для дальнейшей подстановки в формулу (1)
2. Провести измерения напряжения и силы тока по схеме Рис.1 (а). Для длин проволоки 50, 30, 20 см.
3. Получить значения сопротивлений проволоки, пересчитать при помощи значений с вольтметра силу тока на измеряемом образце.
4. Построить график зависимости напряжения от силы тока (пересчитанной для проволоки)
5. По методу наименьших квадратов найти коэффициент наклона, который будет являться средним сопротивлением проволоки.
6. Провести альтернативный расчет, в котором сначала будет по методу наименьших квадратов будет найдено сопротивление параллельного соединение, а потом рассчитано сопротивление проволки.
7. Повторить измерения сопротивлений проволоки при помощи магазина сопротивлений P4833.
8. Посчитать удельное сопротивление проволоки погрешности, сравнить полученные результаты.

# **Оборудование и инструментальные погрешности**

*Линейка*: По цене деления (по цене деления). При определении местоположений контактов имеется дополнительная погрешность, которая может быть оценена как .

*Штангенциркуль*: (маркировка производителя)

*Микрометр*: (маркировка производителя)

*Вольтметр*: класс точности – 0.2, предел измерений в выбранном режиме (600 мВ),

*Амперметр*: при измерении проволоки длиной 50 см значения были постоянными в порядке десятых, а при измерении длин 20 и 30 см, постоянные значения были в порядке сотых, поэтому в первом эксперименте считаем , а во втором и третьем .

*Магазин сопротивлений Р4833*: класс точности – 0.1, предел измерений 1111.1 Ом, множитель схемы , тогда

# **Результаты измерений и обработка данных**

1. Измерения диаметра проволоки при помощи штангенциркуля (dшт) и микрометра (dмк):

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер измерения | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| dшт ± 0,05, мм | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| dмк ± 0,01, мм | 0,36 | 0,37 | 0,36 | 0,36 | 0,37 | 0,36 | 0,36 | 0,36 | 0,36 | 0,35 |

Более точное значение (0,36 мм) получено при помощи микрометра, так как его абсолютная погрешность в пять раз меньше, чем погрешность измерений штангенциркулем. Для дальнейших расчётов будем использовать значение d=0,36 ± 0,01 мм

1. Результаты измерений вольтметром (U1) и амперметром (I1raw) на длине 50,0 , значения сопротивления параллельного соединения проволоки и вольтметра (R1raw), значения сопротивления только проволоки (R1) и силе тока на ней (I1), а также расчет погрешностей для всех величин:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Номер измерения | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| U1, мВ | 576,0 | 488,0 | 424,0 | 392,0 | 344,0 | 320,0 | 300,0 | 268,0 | 252,0 | 404,0 |
| ΔU1, мВ | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| δU1, о.е. | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,005 | 0,003 |
| I1raw, мА | 114,1 | 97,6 | 85,1 | 78,4 | 69,0 | 64,4 | 60,0 | 53,5 | 50,1 | 80,7 |
| ΔI1raw, мА | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| δI1raw, о.е. | 0,0009 | 0,001 | 0,0012 | 0,0013 | 0,0014 | 0,0016 | 0,0017 | 0,0019 | 0,002 | 0,0012 |
| R1raw, Ом | 5,048 | 5,000 | 4,98 | 5,00 | 4,99 | 4,97 | 5,00 | 5,01 | 5,03 | 5,01 |
| ΔR1raw, Ом | 0,015 | 0,015 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,02 |
| δR1raw, о.е. | 0,0029 | 0,003 | 0,0042 | 0,0043 | 0,0044 | 0,0056 | 0,0057 | 0,0059 | 0,007 | 0,0042 |
| R1, Ом | 5,10 | 5,05 | 5,03 | 5,05 | 5,04 | 5,02 | 5,05 | 5,06 | 5,08 | 5,06 |
| ΔR1, Ом | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,12 | 0,06 |
| δR1, о.е. | 0,01 | 0,01 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,012 |
| I1, мА | 113,0 | 96,6 | 84,3 | 77,6 | 68,3 | 63,8 | 59,4 | 53,0 | 49,6 | 79,9 |
| ΔI1, мА | 1,4 | 1,2 | 1,3 | 1,2 | 1,0 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,2 |
| δI1, о.е. | 0,012 | 0,012 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,015 |

Результаты измерений вольтметром (U2) и амперметром (I2raw) на длине 30,0 , значения сопротивления параллельного соединения проволоки и вольтметра (R2raw), значения сопротивления только проволоки (R2) и силе тока на ней (I2), а также расчет погрешностей для всех величин:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Номер измерения | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| U2, мВ | 580,0 | 440,0 | 364,0 | 324,0 | 284,0 | 276,0 | 248,0 | 224,0 | 204,0 | 180,0 |
| ΔU2, мВ | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| δU2, о.е. | 0,002 | 0,003 | 0,003 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,005 | 0,005 | 0,006 | 0,007 |
| I2raw, мА | 192,74 | 146,39 | 120,66 | 108,06 | 93,85 | 91,24 | 82,94 | 75,05 | 67,33 | 60,11 |
| ΔI2raw, мА | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| δI2raw, о.е. | 0,00005 | 0,00007 | 0,00008 | 0,00009 | 0,00011 | 0,00011 | 0,00012 | 0,00013 | 0,00015 | 0,00017 |
| R2raw, Ом | 3,009 | 3,006 | 3,017 | 2,998 | 3,026 | 3,025 | 2,990 | 2,985 | 3,030 | 2,99 |
| ΔR2raw, Ом | 0,006 | 0,009 | 0,009 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,015 | 0,015 | 0,019 | 0,02 |
| δR2raw, о.е. | 0,00205 | 0,00307 | 0,00308 | 0,00409 | 0,00411 | 0,00411 | 0,00512 | 0,00513 | 0,00615 | 0,00717 |
| R2, Ом | 3,027 | 3,02 | 3,03 | 3,02 | 3,04 | 3,04 | 3,01 | 3,00 | 3,05 | 3,01 |
| ΔR2, Ом | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,06 |
| δR2, о.е. | 0,006 | 0,01 | 0,01 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| I2, мА | 191,6 | 145,5 | 119,9 | 107,4 | 93,3 | 90,7 | 82,4 | 74,6 | 66,9 | 59,8 |
| ΔI2, мА | 1,5 | 1,9 | 1,5 | 1,9 | 1,6 | 1,6 | 1,8 | 1,6 | 1,7 | 1,6 |
| δI2, о.е. | 0,008 | 0,013 | 0,013 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 |

Результаты измерений вольтметром (U3) и амперметром (I3raw) на длине 20,0 , значения сопротивления параллельного соединения проволоки и вольтметра (R3raw), значения сопротивления только проволоки (R3) и силе тока на ней (I3), а также расчет погрешностей для всех величин:

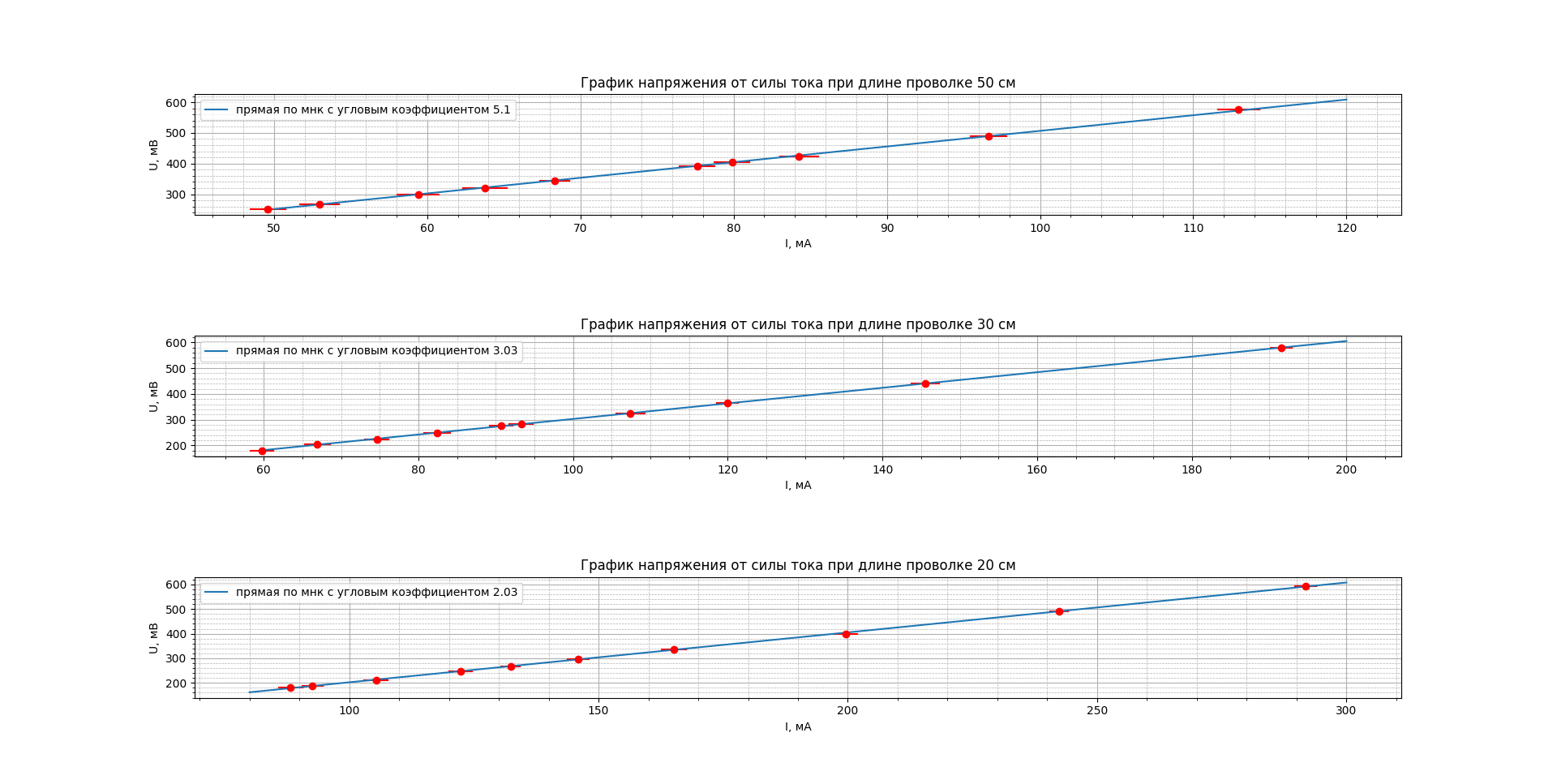
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Номер измерения | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| U3, мВ | 592,0 | 492,0 | 400,0 | 336,0 | 296,0 | 268,0 | 248,0 | 212,0 | 188,0 | 180,0 |
| ΔU3, мВ | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| δU3, о.е. | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,005 | 0,006 | 0,006 | 0,007 |
| I3raw, мА | 291,80 | 242,35 | 199,57 | 165,06 | 145,87 | 132,36 | 122,33 | 105,38 | 92,60 | 88,23 |
| ΔI3raw, мА | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| δI3raw, о.е. | 0,00003 | 0,00004 | 0,00005 | 0,00006 | 0,00007 | 0,00008 | 0,00008 | 0,00009 | 0,00011 | 0,00011 |
| R3raw, Ом | 2,029 | 2,030 | 2,004 | 2,036 | 2,029 | 2,025 | 2,027 | 2,012 | 2,030 | 2,040 |
| ΔR3raw, Ом | 0,004 | 0,004 | 0,006 | 0,008 | 0,008 | 0,008 | 0,010 | 0,012 | 0,012 | 0,015 |
| δR3raw, о.е. | 0,00203 | 0,00204 | 0,00305 | 0,00406 | 0,00407 | 0,00408 | 0,00508 | 0,00609 | 0,00611 | 0,00711 |
| R3, Ом | 2,037 | 2,038 | 2,01 | 2,04 | 2,04 | 2,03 | 2,04 | 2,02 | 2,04 | 2,05 |
| ΔR3, Ом | 0,012 | 0,012 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,05 |
| δR3, о.е. | 0,006 | 0,006 | 0,009 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,015 | 0,018 | 0,018 | 0,022 |
| I3, мА | 290,6 | 241,4 | 198,8 | 164,4 | 145,3 | 131,8 | 121,8 | 105,0 | 92,2 | 87,9 |
| ΔI3, мА | 2,3 | 1,9 | 2,4 | 2,6 | 2,3 | 2,1 | 2,4 | 2,5 | 2,2 | 2,5 |
| δI3, о.е. | 0,008 | 0,008 | 0,012 | 0,016 | 0,016 | 0,016 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |

Построив график по вычисленным данным, получим прямые по методу наименьших квадратов со следующими коэффициентами наклона:

R1=5,1 ± 0,2 Ом.

R2=3,03 ± 0.04 Ом.

R3=2,03 ± 0.02 Ом.



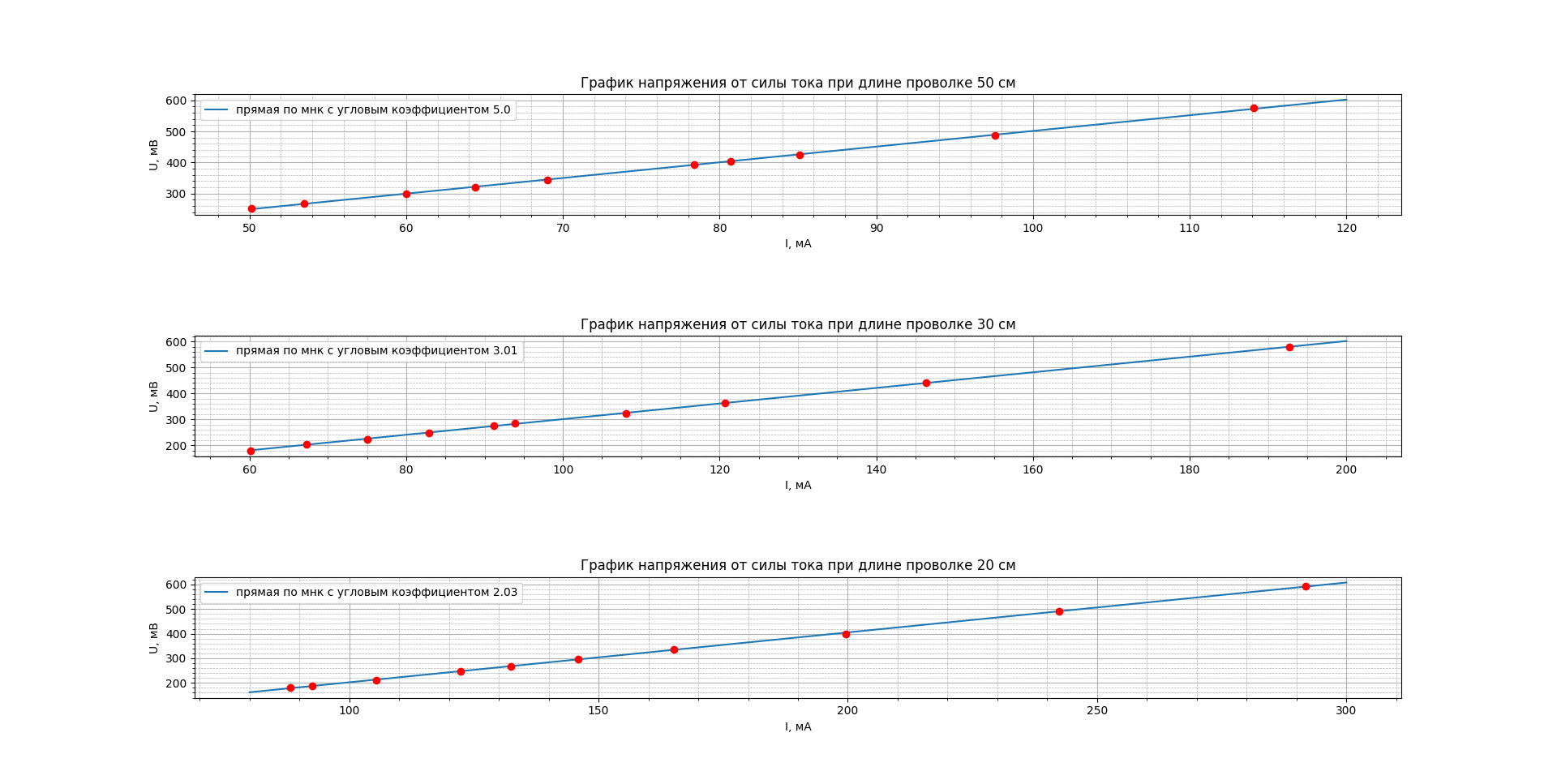
При этом заметим, что погрешности силы тока выросли примерно в 200 раз, из-за большого количества пересчетов.

1. Поэтому попробуем посчитать сначала значение сопротивления параллельного соединения по методу наименьших квадратов, а затем пересчитаем его в сопротивление проволоки.

Rraw1 = 5,0 ± 0.2 Ом.

Rraw2 = 3,03 ± 0.03 Ом.

Rraw3 = 2,03 ± 0.02 Ом.



Тогда сопротивления будут равны:

R1 = 5,1 ± 0,6 Ом.

R2 = 3,05 ± 0.09 Ом.

R3 = 2,04 ± 0.06 Ом.

Хоть погрешности этих значений больше, чем в первом варианте расчета, но в первом варианте никак не учитывались кресты погрешностей, а метод наименьших квадратов применялся именно к точкам, а не к областям.

1. В завершение были проведены измерения при помощи магазина сопротивлений Р4833, работающего по принципу моста Уинстона.

R1у = 4,9954 ± 0,01 Ом.

R2у = 2,9901 ± 0.01 Ом.

R3у = 2,0161 ± 0.01 Ом.

Значения сходятся в пределах погрешностей, поэтому будем использовать те значения, которые имеют наименьшую погрешность:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Номер эксперимента | | |
| 1 | 2 | 3 |
| R, Ом | 5,00 | 2,99 | 2,01 |
| ΔR, Ом | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| δR, о.е. | 0,002 | 0,003 | 0,005 |
| d, мм | 0,36 | 0,36 | 0,36 |
| Δd, мм | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| δd, о.е. | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| l, мм | 500 | 300 | 200 |
| Δl, мм | 2 | 2 | 2 |
| δl, о.е. | 0,004 | 0,007 | 0,01 |
| ρ, Ом/мм | 0,00102 | 0,00101 | 0,00102 |
| Δρ, Ом/мм | 0,00003 | 0,00004 | 0,00004 |
| δρ, о.е. | 0,03 | 0,04 | 0,04 |

**Обсуждение результатов**

Во всех трех экспериментах получились одинаковые значения в пределах погрешностей. Результаты измерения при помощи мультиметра и амперметра находятся в пределах погрешностей с измерением с большей точностью, при помощи магазина сопротивлений, устроенного по принципу моста Уинстона.

**Вывод**

Удельное сопротивление проволоки равно 0,00102 ± 0,00004 Ом/мм. Наиболее удачным способом найти сопротивление проволоки является посчитать сопротивление параллельного соединения, а затем считать сопротивление проволоки. Также лучшей схемой для измерения сопротивления проволоки является схема с амперметром вне параллельного соединения (с данными приборами)