

В задаче не требуется оценка погрешностей!

Теоретическая справка

Элемент Пельтье — термоэлектрический полупроводниковый прибор, использующийся в технике для двух принципиальных целей: создания эффективного теплоотвода от тепловыделяющих объектов и выработки электричества от созданной сторонним путем разности температур. Внутреннее устройство элемента Пельтье изображено на рисунке 1, рассмотрим его подробно. На каждой из керамических подложек элемента расположены металлические пластины, поделенные на секторы. Металлические пластины соединяют между собой полупроводники p - и n -типов.



Рис. 1. Внутреннее устройство элемента Пельтье.

Известно, что при протекании тока от полупроводника p -типа к полупроводнику n -типа в области их контакта идет выделение тепла, при протекании же тока в обратном направлении идет поглощение тепла. Рассмотрим элемент, изображенный на рисунке 1. Пусть ток протекает от положительного электрода к отрицательному. Тогда все контакты, в которых тепло выделяется, оказываются на нижней керамической подложке, а все контакты, на которых тепло поглощается, — на верхней. Такая работа элемента Пельтье позволяет рассматривать его, как тепловой насос, передающий тепло от холодной пластины к горячей. Направление создаваемого им теплового потока можно регулировать,

изменяя полярность подключения элемента Пельтье.

Количество тепла, выделяемого или поглощаемого в одном контакте, пропорционально протекающему через контакт заряду. Тогда выделяющаяся или поглощающаяся в одном контакте мощность пропорциональна силе текущего через него тока. Суммарная мощность, передаваемая от одной пластины к другой, пропорциональна количеству контактных пар на ней. Для описания этой мощности вводится коэффициент Пельтье Π — коэффициент пропорциональности между суммарной мощностью N_P и силой тока I , текущего через элемент:

$$N_P = \pm \Pi I. \quad (1)$$

Теперь рассмотрим работу элемента Пельтье в качестве генератора электричества. При соединении двух полупроводников друг с другом возникает контактная разность потенциалов — напряжение, зависящее от температуры соединения. Если температура верхнего и нижнего соединений в элементе Пельтье одинакова, контактные разности потенциалов компенсируют друг друга. Когда температуры контактов отличаются друг от друга, разности потенциалов на холодном и горячем соединениях становятся разными, таким образом на каждой элементарной ячейке образуется ЭДС равная разности величин контактных разностей потенциалов на горячем и холодном соединении. Так как все ячейки подключены последовательно, суммарная ЭДС \mathcal{E}_T на всем элементе складывается из ЭДС каждой элементарной ячейки. Очевидно, что \mathcal{E}_T зависит от температуры холодной и горячей поверхности.

Внимание! Не подключайте элемент Пельтье к источнику питания напрямую без обеспечения его охлаждения (см. 2 пункт условия). После окончания работы необходимо вытереть термопасту со всех частей установки.

Перед подключением элемента Пелетье к источнику питания выкрутите все ручки до упора влево (в положение "0")

Задание

1. Подключите к элементу Пельтье омметр. Запишите его показания. Дайте объяснение тому, что при изменении полярности подключения омметра его показания изменяются. Что нужно сделать, чтобы этого не происходило? Проведите соответствующие измерения и запишите значение полученного сопротивления элемента Пельтье.
2. Поместите в емкость с холодной водой радиатор таким образом, что его плоская поверхность на 2 мм возвышалась над водой. На верхнюю поверхность радиатора нанесите каплю термопасты и положите на нее элемент Пельтье (см. рисунок 2). Для

обеспечения хорошего теплового контакта необходимо, чтобы термопаста покрывала всю площадь контакта. На верхнюю поверхность элемента Пельтье нанесите еще одну каплю термопасты и погрузите в нее чувствительный элемент термометра. Подключите к элементу Пельтье источник питания в такой полярности, чтобы верхняя поверхность элемента Пельтье охлаждалась при протекании электрического тока. Измерьте зависимость установившейся температуры верхней поверхности элемента Пельтье T от силы протекающего тока I . Не превышайте значение тока в 4.5 А. Одновременно с этим записывайте значения напряжения, падающего на элементе Пельтье. Не ждите установления показаний термометра очень долго, чтобы сохранить практически неизменной температуру нижней поверхности элемента Пельтье (температуру воды в емкости).

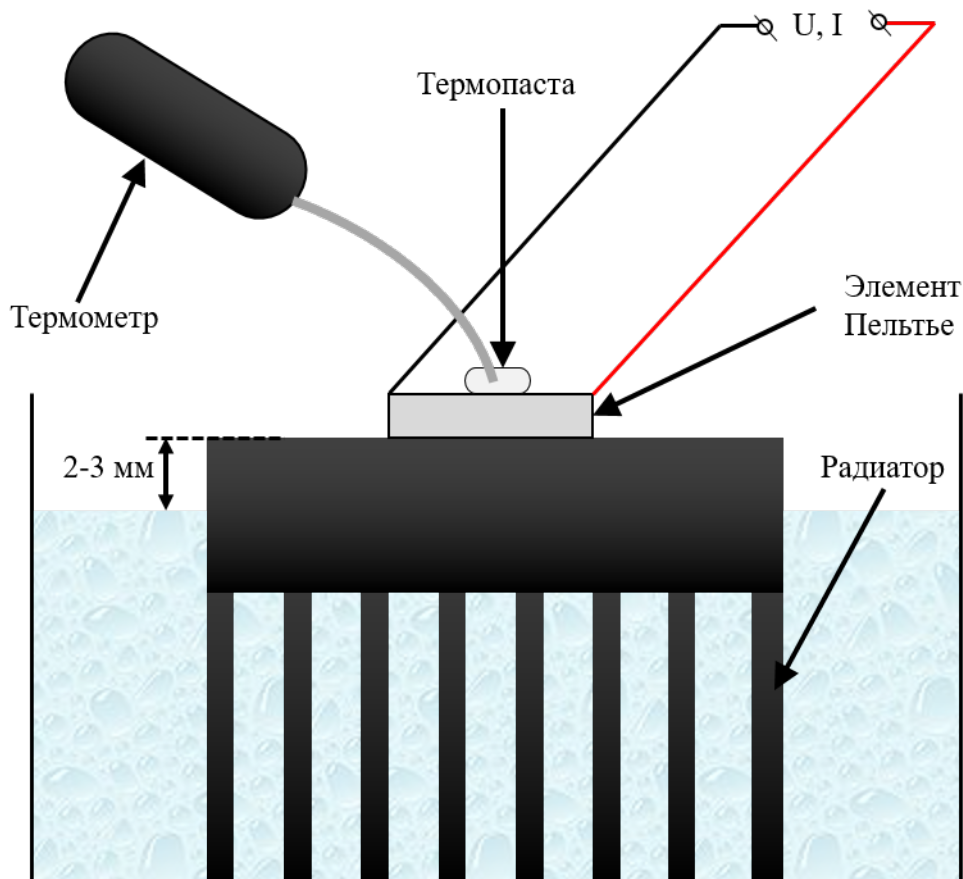


Рис. 2. Схема установки

3. Постройте график зависимости установившейся температуры T от силы тока I , протекающего через элемент Пельтье.
4. Рассмотрим простейшую модель, объясняющую зависимость, измеренную в пункте 2. Будем предполагать, что тепловая мощность, выделяемая за счет омического со-

противления элемента, равномерно распределяется по поверхностям элемента. Также будем предполагать, что мощность теплопотерь поверхности элемента Пельтье линейно зависит от разности температур поверхности элемента и окружающей его среды. Тогда для холодной поверхности элемента можно записать уравнение теплового баланса:

$$\alpha(T_0 - T) + \frac{1}{2}I^2R = \Pi I, \quad (2)$$

или

$$\alpha(T - T_0) = -\Pi I + \frac{1}{2}I^2R \quad (3)$$

где R - сопротивление элемента Пельтье, T_0 - температура окружающей поверхность среды, α — коэффициент теплопотерь поверхности элемента Пельтье.

Используя результаты пункта 2, проверьте выполнимость описанной модели во всем диапазоне температур.

5. Измерьте зависимость \mathcal{E}_T от разности температур холодной и горячей поверхности элемента Пельтье. Для обеспечения хорошего теплового контакта поверхностей элемента Пельтье с горячими и холодными частями установки используйте небольшое количество термопасты. Постройте график измеренной зависимости. Какой функцией можно описать полученные экспериментальные точки? Рассчитайте коэффициенты этой функции.
6. Рассчитайте точное значение сопротивления элемента Пельтье, используя данные пунктов 2 и 5. Для этого постройте соответствующий график и найдите его угловой коэффициент. Зависит ли сопротивление элемента Пельтье от температуры контактов и напряжения на нем?
7. Определите коэффициент Пельтье Π выданного вам элемента. Для этого используйте результаты пунктов 3 и 6.

Оборудование. Лабораторный источник питания, элемент Пельтье, соединительные провода, мультиметр, термометр без металлического кожуха, радиатор, емкость с холодной водой, металлическая чашка, термопаста, горячая вода по требованию, шприц (20 мл), стакан с холодной водой, бумажные полотенца (для поддержания чистоты рабочего стола).

Примечание. Показания напряжения и тока источника питания усредняйте при необходимости.

Решение

1. При подключении омметра к элементу Пельтье через него протекает электрический ток, что приводит к охлаждению одной из поверхностей и нагреву второй. Возникающая термо-ЭДС может изменять показания омметра в широком диапазоне значений. При смене полярности термо-ЭДС меняет свое направление, что приводит к изменению показаний омметра.

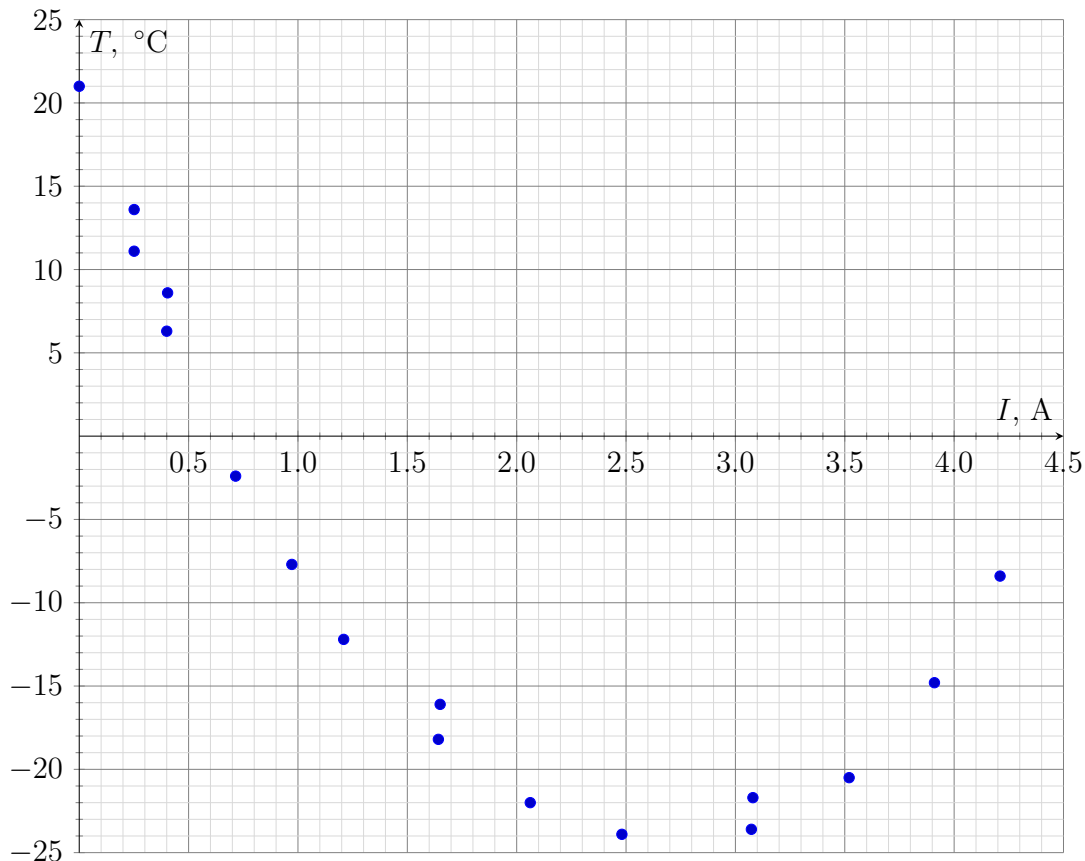
Если поместить элемент Пельтье в емкость с водой, то температура на обеих поверхностях будет одинакова, и термо-ЭДС возникать не будет, а, следовательно, показания омметра будут одинаковыми для обеих полярностей. Показания омметра в таком случае будут являться суммой сопротивления проводов и сопротивления элемента Пельтье.

$$R = 4.2 \text{ Ом}, R_{\text{пр}} = 1,3 \text{ Ом}. \text{ Тогда } R_{\text{эл}} = R - R_{\text{пр}} = 2.9 \text{ Ом}. \quad (4)$$

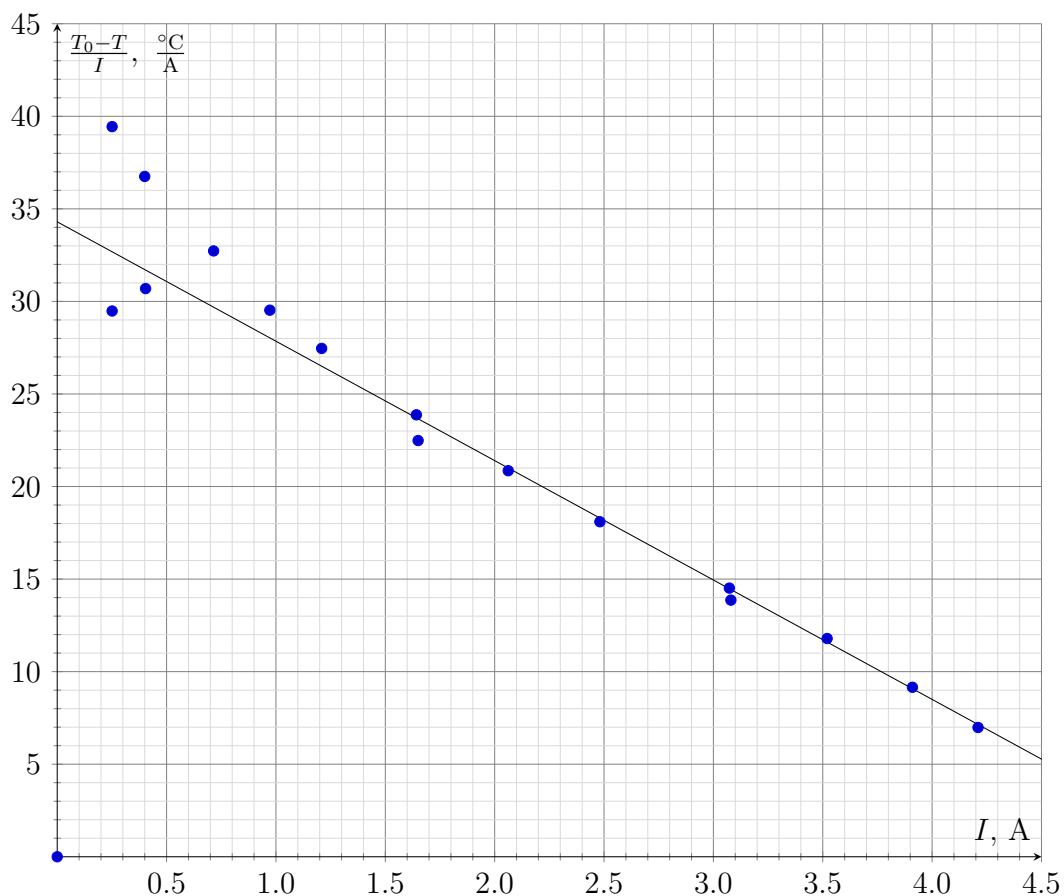
2. Измерим комнатную температуру $T_0 = 21.0 \text{ }^\circ\text{C}$. Соберем установку, описанную во втором пункте условия, и измерим зависимость температуры холодной поверхности элемента Пельтье от силы тока, текущего через него. Также будем записывать показания напряжения источника U в момент установления температуры.

$I, \text{ A}$	$U, \text{ В}$	$T, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_0 - T, \text{ }^\circ\text{C}$	$\frac{T_0 - T}{I}, \frac{^\circ\text{C}}{\text{A}}$
0.00	0.00	21.0	0.0	0.0
0.25	1.01	11.1	9.9	39.4
0.40	1.53	6.3	14.7	36.8
0.72	2.42	-2.4	23.4	32.7
0.97	3.18	-7.7	28.7	29.5
1.21	3.92	-12.2	33.2	27.5
1.64	5.12	-18.2	39.2	23.9
2.06	6.25	-22.0	43.0	20.9
2.48	7.42	-23.9	44.9	18.1
3.07	9.13	-23.6	44.6	14.5
3.52	10.48	-20.5	41.5	11.8
3.91	12.07	-14.8	35.8	9.2
4.21	13.23	-8.4	29.4	7.0
3.08	9.20	-21.7	42.7	13.9
1.65	5.36	-16.1	37.1	22.5
0.40	1.53	8.6	12.4	30.7
0.25	1.14	13.6	7.4	29.5

3. Построим график зависимости установившейся температуры холодной поверхности элемента Пельтье от силы тока, текущего через него.

График зависимости T от I 

4. Для проверки модели, указанной в условии, построим исследованную зависимость в предполагаемых линеаризованных координатах $\frac{T_0 - T}{I}(I)$. Видно, что измеренная зависимость хорошо описывается указанной моделью только в области большой разности температур поверхностей элемента Пельтье. Это связано с тем, что температура нижней поверхности немного изменяется в течение эксперимента, что влияет на поток тепла, идущий от нижней поверхности к верхней в течение эксперимента за счет теплопроводности. Это особенно заметно при повторном измерении зависимости установившейся температуры от силы тока, когда сила тока в процессе измерений уменьшается от максимального значения к минимальному.

График зависимости $\frac{T_0 - T}{I}$ от I 

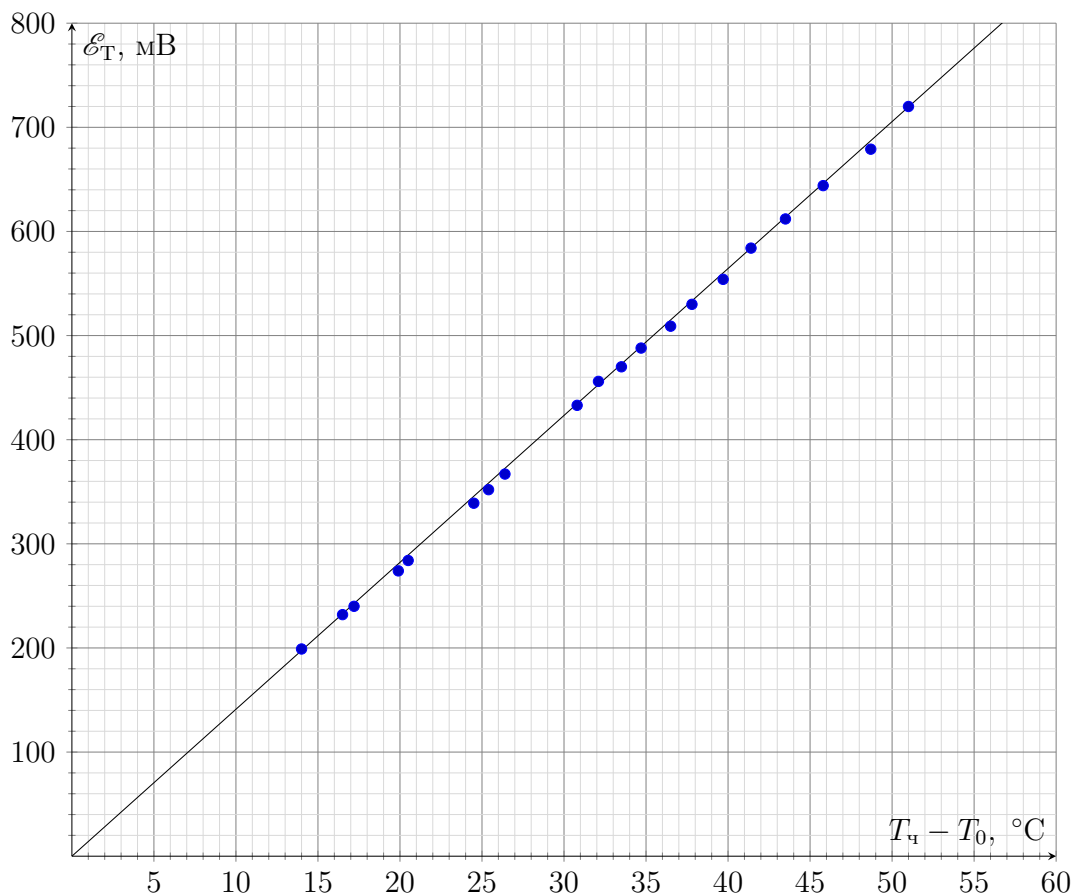
5. Для измерения зависимости термо-ЭДС в элементе Пельтье от разности температур нижней и верхней поверхностей соберем установку, в которой, как и в предыдущем пункте, нижняя часть элемента Пельтье будет лежать на радиаторе, помещенном в воду. На верхнюю же часть элемента Пельтье поставим чашку с горячей водой, обеспечив хороший тепловой контакт между дном чашки и поверхностью элемента при помощи термопасты. Будем считать, что температура нижней части элемента будет неизменна в течение эксперимента и равна температуре воды в сосуде, в котором стоит радиатор ($T_0 = 21.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$), а температура верхней поверхности элемента будет совпадать с температурой воды в чашке. Будем измерять термо-ЭДС по мере остывания воды в чашке, фиксируя температуру $T_ч$ в ней. Когда скорость остывания станет медленной, будем с помощью шприца добавлять холодную воду в чашку из сосуда, в котором установлен радиатор.

Построим график зависимости термо-ЭДС от разности температур в чашке и сосуде с радиатором. График хорошо описывается линейной функцией без смещения.

Угловым коэффициентом графика составляет:

$$A = 14.1 \frac{\text{мВ}}{^{\circ}\text{C}} \quad (5)$$

$T_{\text{ч}}, ^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{ч}} - T_0, ^{\circ}\text{C}$	$\mathcal{E}_{\text{T}}, \text{мВ}$
72.5	51.0	720
70.2	48.7	679
67.3	45.8	644
65.0	43.5	612
62.9	41.4	584
61.2	39.7	554
59.3	37.8	530
58.0	36.5	509
56.2	34.7	488
55.0	33.5	470
53.6	32.1	456
52.3	30.8	433
47.9	26.4	367
46.9	25.4	352
46.0	24.5	339
42.0	20.5	284
41.4	19.9	274
38.7	17.2	240
38.0	16.5	232
35.5	14.0	199

График зависимости \mathcal{E}_T от $T_{\text{ч}} - T_0$ 

6. Элемент Пельтье можно представить в виде последовательно соединенных резистора и термо-ЭДС. В этом случае падение напряжения на элементе Пельтье можно представить как:

$$U = IR \pm \mathcal{E}_T. \quad (6)$$

Знак перед термо-ЭДС зависит от разности температур пластин. Очевидно, что в случае самостоятельного разогрева пластин термо-ЭДС стремится уменьшить ток, текущий через элемент Пельтье. Тогда для падения напряжения на внутреннем сопротивлении можно записать:

$$IR = U - \mathcal{E}_T. \quad (7)$$

Рассчитаем падение напряжения на внутреннем сопротивлении элемента Пельтье в зависимости от силы тока, текущего через него из результатов пунктов 2 и 5.

$I, \text{ A}$	$U, \text{ B}$	$\Delta T, \text{ }^\circ\text{C}$	$\mathcal{E}_T, \text{ B}$	$U - \mathcal{E}_T, \text{ B}$
0.00	0.00	0.0	0.00	0.00
0.16	0.50	6.2	0.00	0.50
0.32	1.05	11.6	0.00	1.05
0.52	1.71	17.0	0.01	1.70
1.11	3.35	27.1	0.02	3.33
1.46	4.32	31.1	0.02	4.30
1.72	5.02	33.5	0.02	5.00
1.92	5.55	34.7	0.03	5.52
2.45	7.16	35.2	0.03	7.13
2.72	8.06	34.0	0.04	8.02
2.88	8.75	32.2	0.04	8.71
3.05	9.35	30.2	0.04	9.31

Построим график зависимости падения напряжения на внутреннем сопротивлении элемента Пельтье от силы тока, текущего через него. График хорошо описывается линейной функцией, его угловой коэффициент равен внутреннему сопротивлению элемента Пельтье. Линейность графика говорит также о том, что сопротивление элемента Пельтье практически не зависит от приложенного напряжения, а также температур поверхностей.

$$R = 2.94 \text{ Ом} \quad (8)$$

7. Для расчета коэффициента Пельтье найдем силу тока, соответствующего минимальной температуре на графике в пункте 3. В модели, проверенной нами в пункте 4, этот ток отвечает отношению коэффициента Пельтье и внутреннего сопротивления элемента:

$$I_{\min} = \frac{\Pi}{R} = 2.7 \text{ A} \quad (9)$$

Окончательно для коэффициента Пельтье получим:

$$\Pi = I_{\min} R = 7.94 \text{ B} \quad (10)$$

График зависимости $U - \mathcal{E}_T$ от I 