

$$v_1 = \frac{7,0 \text{ км}}{6,0 \text{ мин}} = 70 \frac{\text{км}}{\text{час}}. \quad (1)$$

Прямая 2 соответствует минимальной скорости, удовлетворяющей условию проезда без остановок. Ей соответствует скорость

$$v_2 = \frac{7,0 \text{ км}}{8,0 \text{ мин}} = 53 \frac{\text{км}}{\text{час}}. \quad (1)$$

2.3 Закон движения «нарушителя» показан ломанной линией 4. Очевидно, что при любой скорости превышающей $v_1 = 70 \frac{\text{км}}{\text{час}}$ время движения будет лежать в интервале от 6 до 7 мин (в зависимости от момента времени подъезда к светофору на въезде в город).

2.4 Закон движения велосипедиста отражается прямой 3 на диаграмме. Ей соответствует скорость

$$v_3 = \frac{1,0 \text{ км}}{3,0 \text{ мин}} = 20 \frac{\text{км}}{\text{час}}. \quad (3)$$

Задание 3. Бареттер.

0.1. Сопротивление проволоки бареттера R_0 при температуре 0°C равно

$$R_0 = \rho_0 \frac{l}{S} = \frac{\rho_0 l}{\pi r^2} = 2,18 \text{ Ом}.$$

Формула зависимости сопротивления проволоки от температуры имеет вид

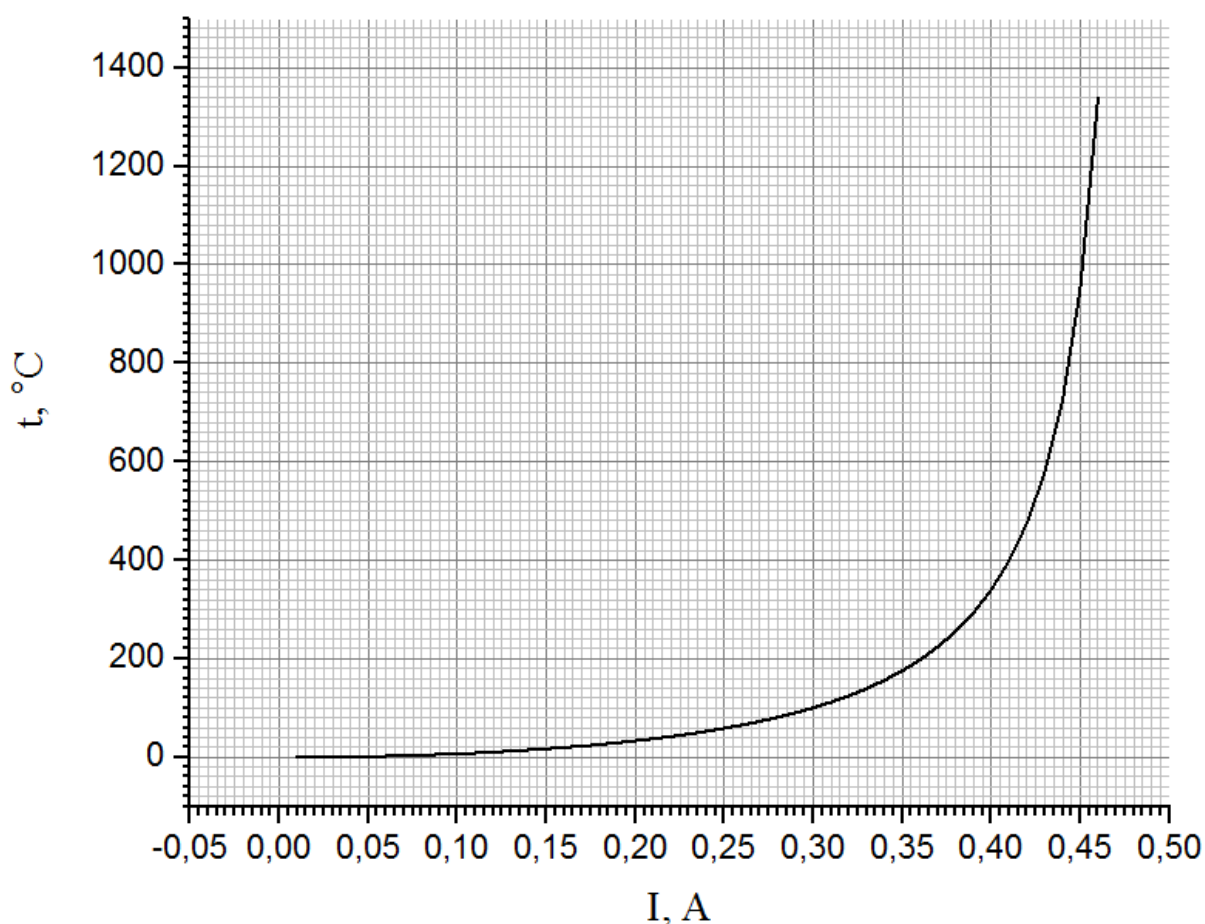
$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{\rho_0 l}{\pi r^2} (1 + \gamma t) = R_0 (1 + \gamma t).$$

0.2. Мощность теплоотдачи бареттера определяется формулой $P_{\text{отд}} = \alpha S_{\text{пов}}(t - t_0)$, где $S_{\text{пов}} = 2\pi r l$ — площадь поверхности нити. Учитывая, что $t_0 = 0$, получаем, что $P_{\text{отд}} = At$, где $A = 2\pi r l \alpha = 3,14 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}}$.

1.1. При протекании тока I по проволоке бареттера в ней выделяется теплота с мощностью, определяемой законом Джоуля-Ленца. В тепловом равновесии выполняется условие $P_{\text{эл}} = P_{\text{отд}}$ или $I^2 R_0 (1 + \gamma t) = At$. Отсюда для зависимости $t(I)$

$$t = \frac{I^2 R_0}{A - I^2 R_0 \gamma}.$$

получаем следующее выражение



1.2. Согласно закону Ома напряжение на проволоке

$$U = IR = IR_0(1 + \gamma t) = IR_0 \left(1 + \frac{I^2 R_0 \gamma}{A - I^2 R_0 \gamma} \right) = \frac{IR_0}{1 - \frac{\gamma R_0}{A} I^2}$$
. Чтобы получить отсюда зависимость $I(U)$ можно разрешить полученное здесь квадратное уравнение, однако этого не требуется: чтобы построить вольтамперную характеристику, можно сначала построить зависимость $U(I)$, а затем обратить полученный график.

1.3. $U \rightarrow \infty$, когда $1 - \frac{\gamma R_0}{A} I^2 \rightarrow 0$, то есть когда $I \rightarrow \sqrt{\frac{A}{R_0 \gamma}} = 0,487 \text{ A}$. Однако такой ток через бареттер недостижим, так как из (5) следует, что при $I \rightarrow \sqrt{\frac{A}{R_0 \gamma}} \quad t \rightarrow \infty$.

1.4. Максимально возможным током через бареттер является ток, при котором начинает плавиться проволока бареттера. Отсюда получаем для I_{\max} уравнение $\frac{I^2 R_0}{A - I^2 R_0 \gamma} = t_{\text{пл}}$.

Разрешая его, получаем, что $I_{\max} = \sqrt{\frac{A}{R_0} \frac{t_{\text{пл}}}{1 + \gamma t_{\text{пл}}}} = 0,463 \text{ A}$. Тогда $U_{\max} = I_{\max} R_0 (1 + \gamma t) = \sqrt{A R_0 t_{\text{пл}} (1 + \gamma t_{\text{пл}})} = 10,4 \text{ В}$.

1.5. При $U \rightarrow 0$ также и $I \rightarrow 0$, а значит $I^2 \approx 0$. Следовательно, как и следовало ожидать, $U = IR_0$ при малых напряжениях.

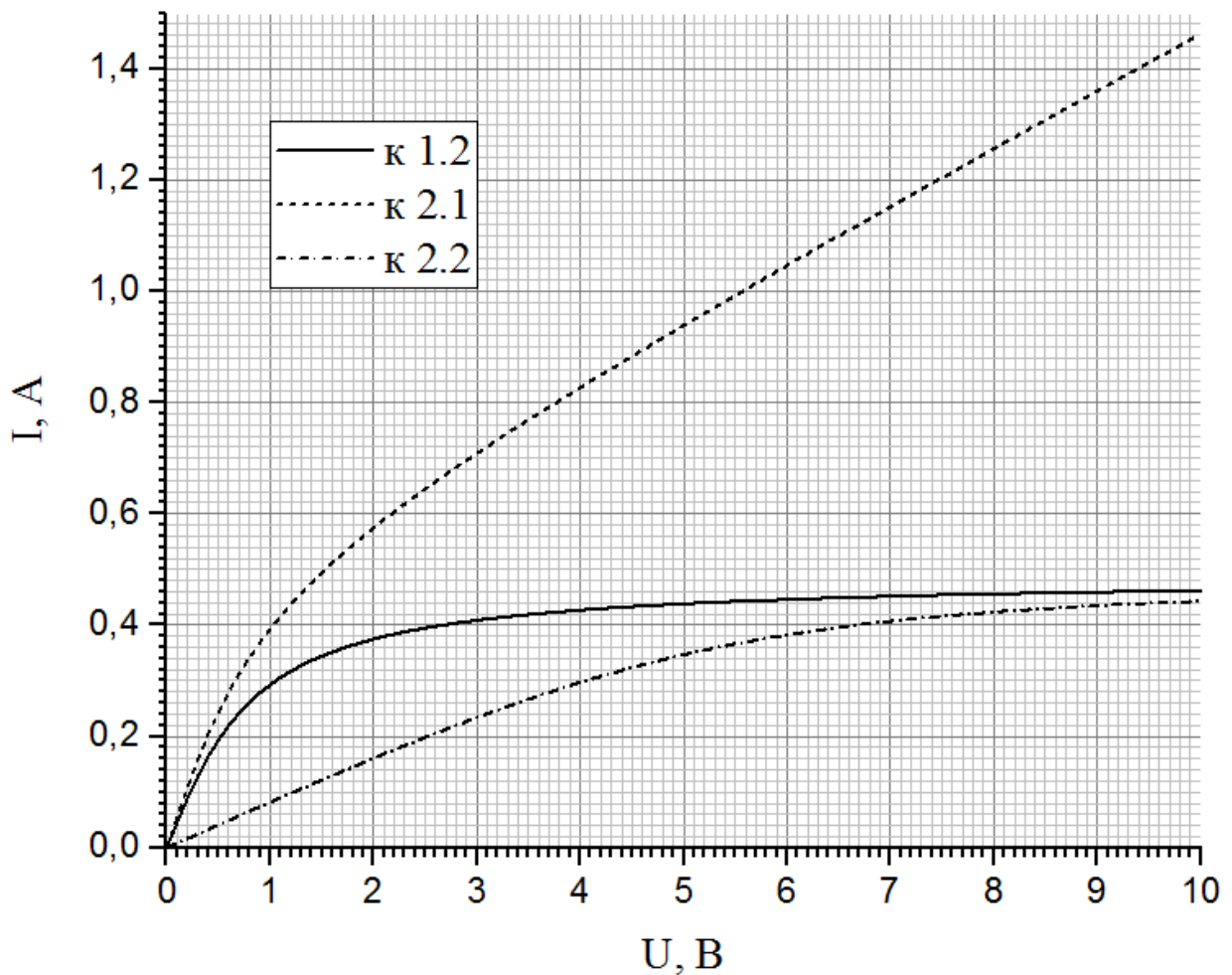
2.1. При параллельном подключении бареттера и резистора напряжение в цепи равно напряжению на бареттере, а полный ток в цепи определяется как сумма тока через

бареттер и тока через резистор, равного $\frac{U}{R_1}$. Соответственно вольтамперная характеристика цепи может быть получена прибавлением к вольтамперной характеристике бареттера линейной функции $I = \frac{U}{R_1}$.

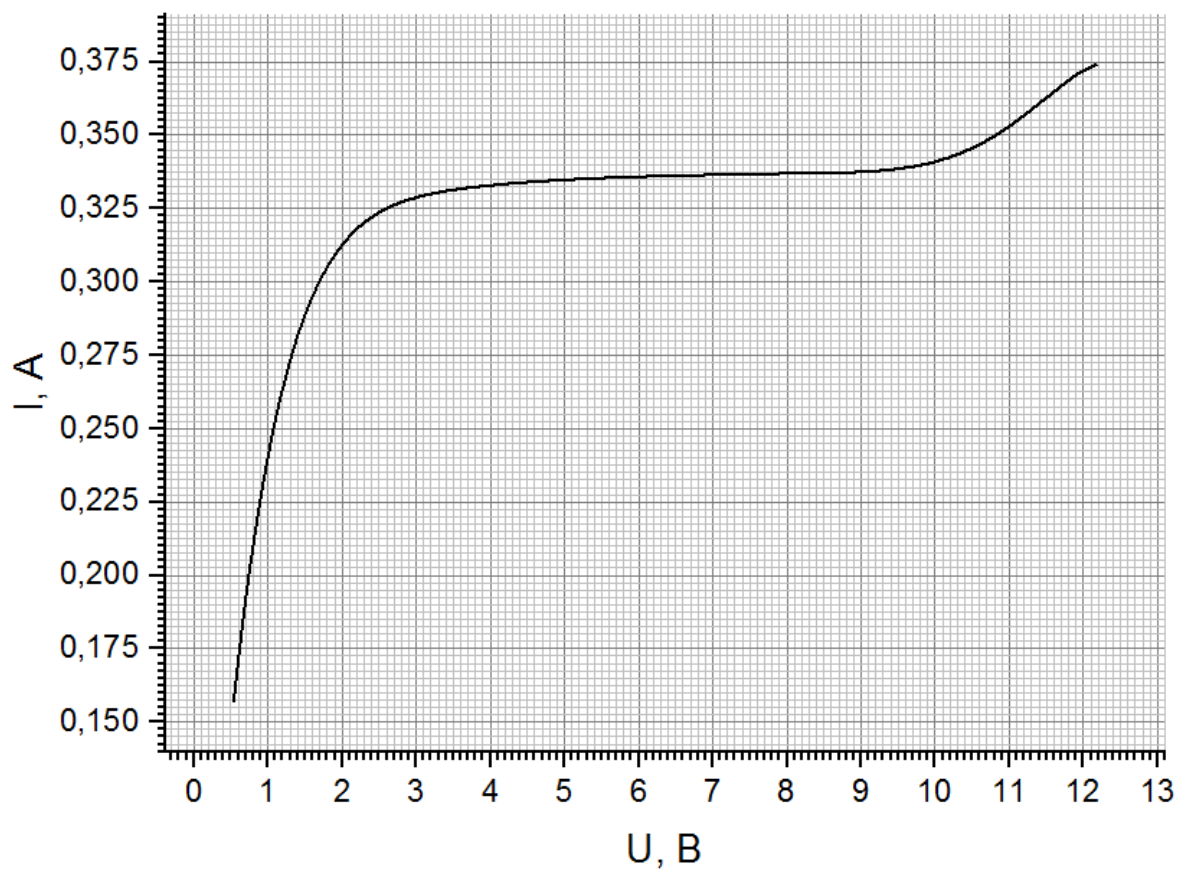
2.2. При последовательном подключении бареттера и резистора ток в цепи равно току

$$U = \frac{IR_0}{1 - \frac{\gamma R_0}{A} I^2} + IR_1$$

на бареттере, а напряжение в цепи определяется как . Чтобы получить зависимость $I(U)$, необходимо соответственно решить кубическое уравнение, однако этого не требуется: чтобы построить вольтамперную характеристику, можно сперва построить зависимость $U(I)$, а затем обратить полученный график.



3.1. Для произвольной зависимости $\rho(t)$ $I^2 \frac{\rho(t)}{\rho_0} R_0 = At$. Отсюда $I(t) = \sqrt{\frac{\rho_0 At}{\rho(t) R_0}}$. Кроме того, из закона Ома следует, что $U(t) = \sqrt{\frac{\rho(t) R_0 At}{\rho_0}}$. Таким образом, получена параметрическая зависимость $I(U)$ с температурой в качестве параметра.



3.2. Напряжение стабилизации составляет около $U_{\text{ст}} = 7,5$ В.

3.3. В точке стабилизации ток равен $I_{\text{ст}} = 0,337$ А. Соответственно области стабилизации соответствуют токи от 0,329 А до 0,345 А и напряжения от 3,0 до 10,5 В.