



Многопрофильная инженерная олимпиада «Звезда» «Приборостроение»

9-10 классы

Заключительный этап

2024-2025

Задания, ответы и критерии оценивания

ЗАДАЧА 1 (10 баллов)

Современные оптические атомные часы обладают погрешностью по частоте на уровне $\pm 9,4 \times 10^{-19}$ Гц. За сколько лет такие часы накопят погрешность в ± 1 с?

Решение:

Погрешность в ± 1 с такие атомные часы накопят за $1/(9,4 \times 10^{-19})$ с

В среднем в году, учитывая високосный (365,25 дней), содержится $365,25 \times 24 \times 60 \times 60$ с = 31 557 600 с

Таким образом, погрешность в ± 1 с такие атомные часы накопят в течение:

$$1/(31\,557\,600 \times 9,4 \times 10^{-19}) = 33\,710\,731\,717 \text{ лет, то есть примерно } 33,7 \text{ млрд лет.}$$

ЗАДАЧА 2 (20 баллов)

Для определения коэффициентов номинальной статической характеристики медного термопреобразователя (термометра) сопротивления провели эксперимент по его нагреванию в термостате от 20°C до 200°C .

Термометр сопротивления – это средство измерений температуры, состоящее из одного или нескольких термочувствительных элементов сопротивления и внутренних соединительных проводов, помещенных в герметичный защитный корпус, внешних клемм или выводов, предназначенных для подключения к измерительному прибору.

Чувствительный элемент первичного преобразователя выполнен из металлической проволоки бифилярной намотки или пленки, нанесенной на диэлектрическую подложку (рис. 1). Чувствительный элемент имеет выводы для крепления соединительных проводов и известную зависимость электрического сопротивления от температуры. Принцип работы термометра сопротивления основан на изменении электрического сопротивления термочувствительного элемента от температуры.

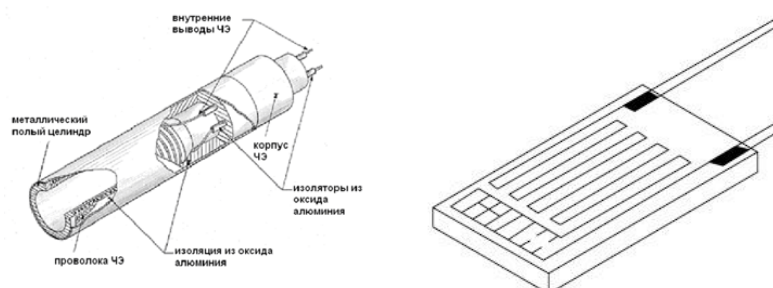


Рис. 1. Виды конструкций термометра сопротивления

В ходе измерительного эксперимента при подаче постоянного электрического тока номиналом 1 мА измерялось падение напряжения на чувствительном элементе термопреобразователя. В результате получили зависимость, приведенную на рис. 2.

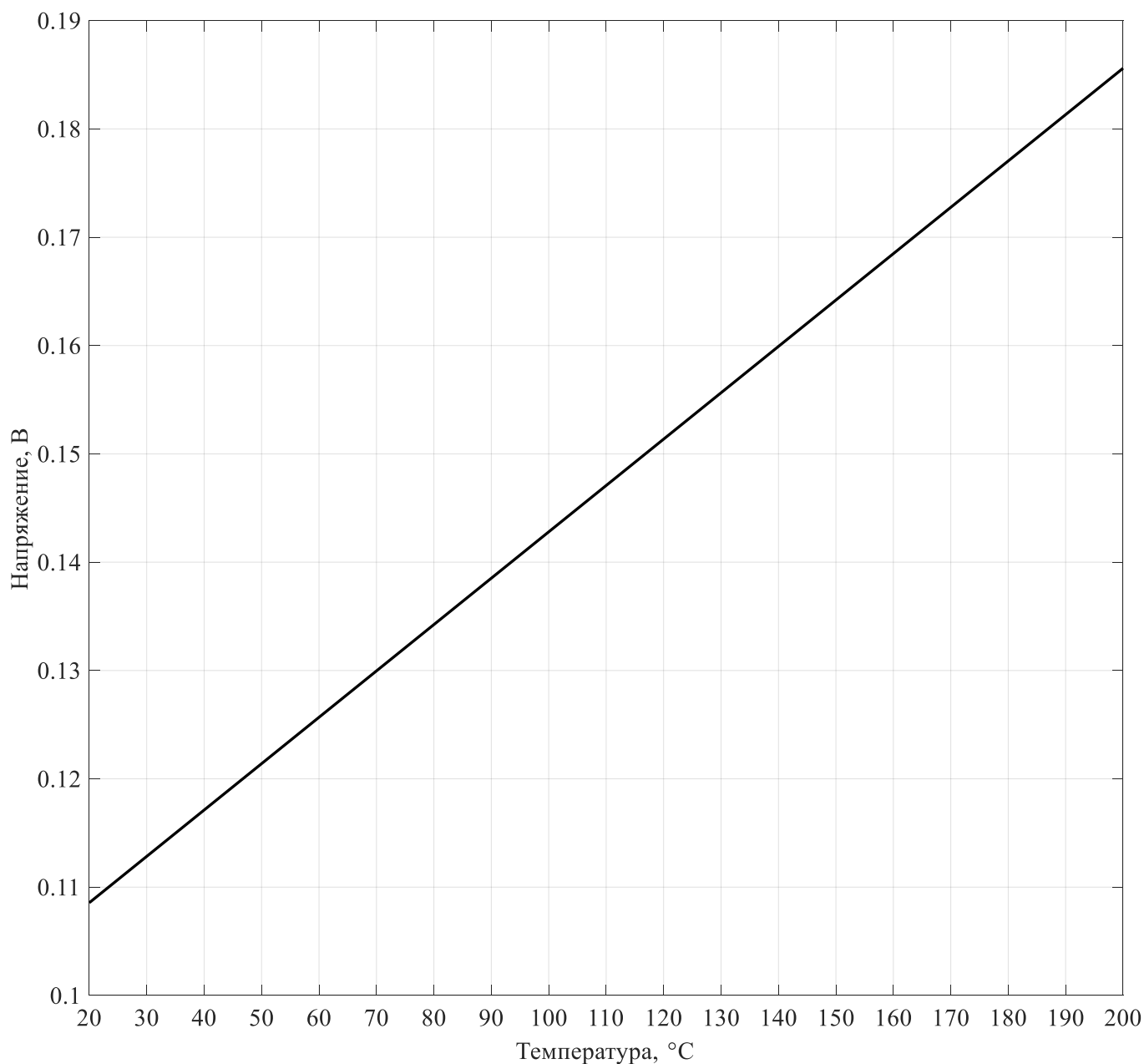


Рис. 2. Зависимость выходного напряжения термометра от температуры

Номинальная статическая характеристика медного термометра сопротивления в диапазоне измеряемых температур (0...200) °C по ГОСТ 6651–2009 описывается уравнением:

$$R_t = R_0(1 + At),$$

где R_t – сопротивление термометра при температуре t , °C; R_0 – сопротивление термометра при температуре 0°C; A – температурный коэффициент сопротивления.

По полученной экспериментальной зависимости выходного напряжения термометра сопротивления от температуры определить коэффициенты R_0 и A , указать их единицы измерения.

Решение:

Номинальная статическая характеристика медного термометра сопротивления в диапазоне измеряемых температур (0...200) °C представляет собой линейную зависимость, поэтому для определения ее параметров необходимо составить систему из двух уравнений. По графику на рис. 2 найдем значения абсцисс и ординат двух точек диапазона: удобно найти значение напряжения при температуре $t_1=70$ °C и $t_2=140$ °C, где $U_1=0,13$ В и $t_2=0,16$ В, соответственно (рис. 3).

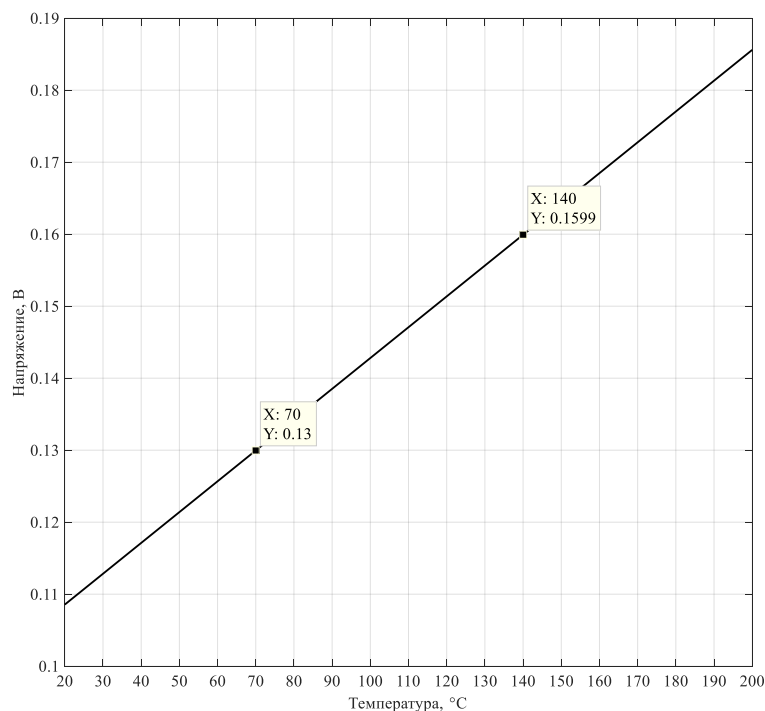


Рис. 3

По закону Ома имеем

$$R_1 = U_1 / I \text{ и } R_2 = U_2 / I,$$

где $I = 1$ мА – сила измерительного тока. Тогда

$$R_1 = 130 \text{ [Ом]} \text{ при } t_1 = 70 \text{ °C}$$

$$R_2 = 160 \text{ [Ом]} \text{ при } t_2 = 140 \text{ °C}$$

Составим систему уравнений на основе номинальной статической характеристики медного термометра сопротивления:

$$R_1 = R_0(1 + At_1)$$

$$R_2 = R_0(1 + At_2)$$

в которой неизвестными являются R_0 – сопротивление термометра при температуре 0°C и A – температурный коэффициент сопротивления.

Из решения системы:

$$130 = R_0(1+A \cdot 70)$$

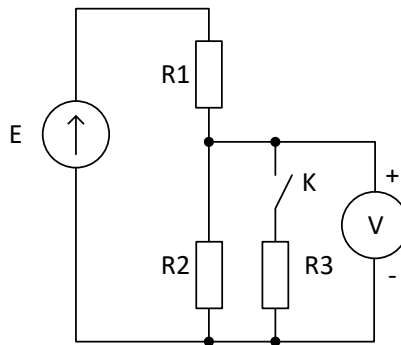
$$160 = R_0(1+A \cdot 140)$$

следует $R_0 = 100$ [Ом] и $A = 30/(70 \cdot 100)$ [1/°C] $\approx 0,0043$ [1/°C].

Ответ: $R_0 = 100$ [Ом] и $A \approx 0,0043$ [1/°C].

ЗАДАЧА 3 (30 баллов)

Источник ЭДС $E = 12$ [В] подключен к цепи постоянного тока. Определить показания идеального вольтметра при разомкнутом и замкнутом ключе К если все сопротивления составляют $R_1 = R_2 = R_3 = R$.



Решение. При разомкнутом ключе К к источнику ЭДС подключена последовательная цепь из последовательного соединения резисторов R_1 и R_2 . Ток цепи определяется как

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{E}{2R} = \frac{6[B]}{R}$$

Показания вольтметра соответствуют падению напряжения на резисторе R_2 и составляют

$$U = I \cdot R_2 = \frac{6[B]}{R} \cdot R = 6[B]$$

При замкнутом ключе К к источнику ЭДС E подключена последовательно-параллельная цепь резисторов $R_1 + (R_2 \parallel^1 R_3)$ с эквивалентным сопротивлением

$$R' = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = R + \frac{R \cdot R}{R + R} = 1,5R$$

Ток цепи определяется как

$$I = \frac{E}{R'} = \frac{12[B]}{1,5R} = \frac{8[B]}{R}$$

Показания вольтметра соответствуют падению напряжения на параллельном соединении резисторов R_2 и R_3 и составляют

$$U = I \cdot \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{8[B]}{R} \cdot \frac{R \cdot R}{R + R} = 4[B]$$

Ответ: при разомкнутом ключе К вольтметр показывает напряжение 6 [В].

При замкнутом ключе К вольтметр показывает напряжение 4 [В].

¹ $\parallel$ - символ, обозначающий параллельное соединение резисторов

ЗАДАЧА 4 (40 баллов)

Проектная навигационная задача (на основе механики равноускоренного движения)

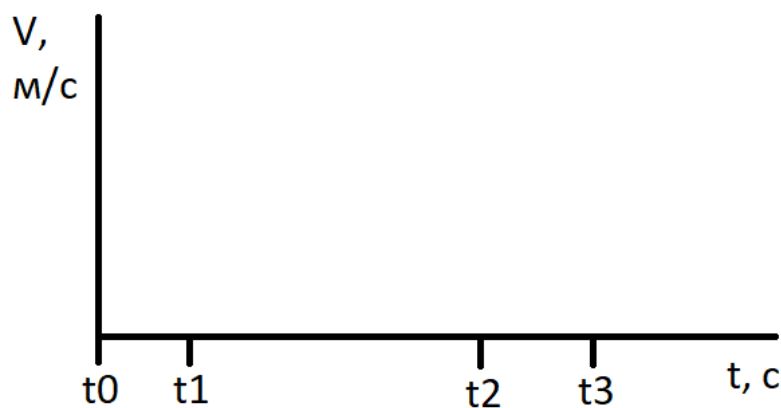
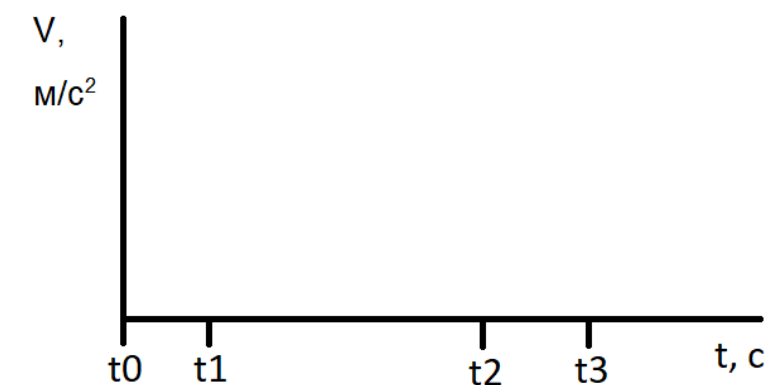
Малый летательный аппарат в виде коптера вылетает из пункта А в пункт Б. Его полетное задание дается в виде интервальных значений ускорений в моменты времени t_0 , t_1 , t_2 , t_3 . На интервале времени от t_0 до t_1 ускорение горизонтального полета является постоянным положительным $+a_{\max}$. На интервале времени от t_1 до t_2 ускорение горизонтального полета равно нулю. На интервале времени от t_2 до t_3 ускорение горизонтального полета является постоянным отрицательным $-a_{\max}$.

Данные для вычислений: $t_0=0$; $t_1=20$ секунд; $t_2=100$ секунд, $t_3=120$ секунд; $a_{\max}=10$ м/с².

Требуется:

1. Вычислить значения скоростей и пройденного коптером пути на каждом временном интервале и суммарное расстояние между пунктами А и Б.
2. Построить в масштабе графики ускорений, скоростей и пройденного пути.

Формат графиков:



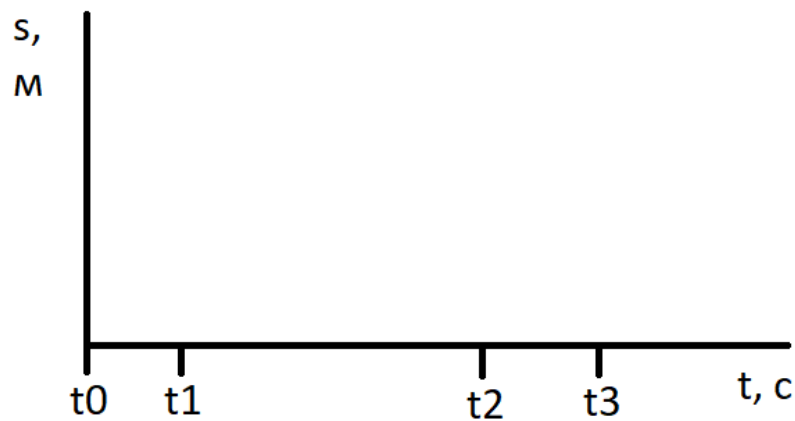


Рисунок 1 Формат представления графиков

Решение

График ускорений, построенный по в масштабе исходным данным, представлен на рисунке2.

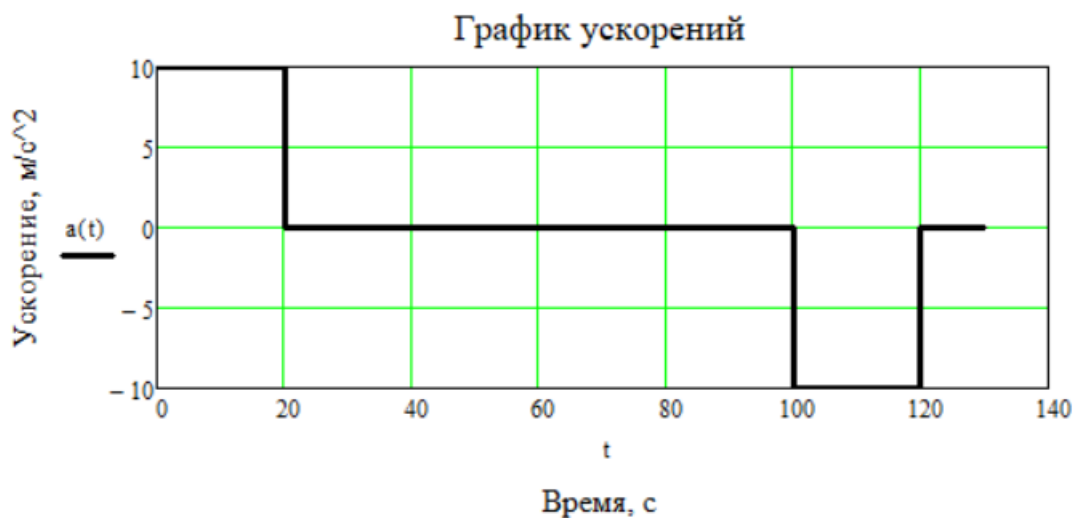


Рисунок 2 График ускорений, построенный по исходным данным

Вычисление значения скорости коптера на каждом временном интервале.

На интервале времени от t_0 до t_1 скорость вычисляется по формуле (1) через среднее на интервале времени значение скорости $V_{\max}/2$:

$$V_1 = (t_1 - t_0) \cdot a_{\max}. \quad (1)$$

Подстановка численных значений дает значение скорости в конце интервале времени от t_0 до t_1 : $V_1 = 200$ м/с.

На следующем интервале времени от t_1 до t_2 скорость остается неизменной и равной $V_2 = 200$ м/с ввиду нулевого значения ускорения.

На интервале времени от t_2 до t_3 скорость уменьшается из-за отрицательного значения ускорения на величину, определяемую выражением (2):

$$V_3 = V_2 - (t_3 - t_2) \cdot (-a_{\max}). \quad (2)$$

Подстановка численных значений дает значение скорости в конце интервале времени от t_2 до t_3 : $V_3 = 0$ м/с.

График скоростей, построенный в масштабе по вычисленным данным, представлен на рисунке 3.

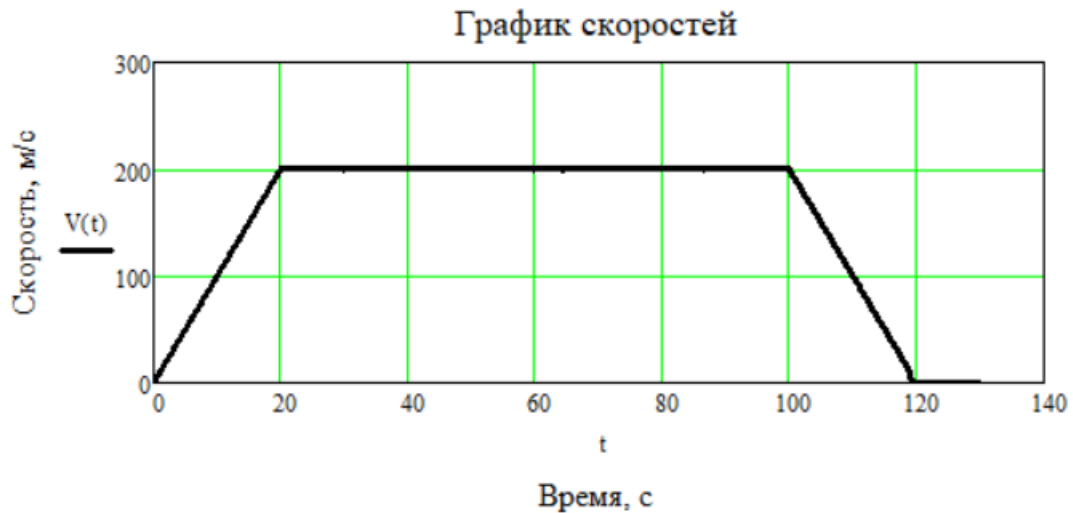


Рисунок 3 График скоростей, построенный по вычисленным данным

Скорость движения коптера является переменной на интервале времени от t_0 до t_1 . Поэтому для построения графика пройденного коптером пути на интервале времени от t_0 до t_1 необходимо вычислить значения в нескольких промежуточных точках и соединить их на графике плавной кривой. Движение на этом интервале происходит с постоянным ускорением, поэтому промежуточные значения можно вычислять по формуле (3):

$$s_{0,1}(t) = (t - t_0)^2 \cdot a_{\max} / 2. \quad (3)$$

Например, для средней точки временного интервала $t = 10$ с, получается $s_{0,1}(t) = 500$ м.

На интервале времени от t_1 до t_2 пройденный путь вычисляется по формуле (4) через постоянное на этом интервале времени значение скорости V_2 :

$$s_{1,2}(t) = (t - t_1) \cdot V_2. \quad (4)$$

Подстановка численных значений дает значение пройденного пути на интервале времени от t_1 до t_2 : $s_{1,2} = 16000$ метров.

На интервале времени от t_2 до t_3 пройденный путь вычисляется по формуле (5) через начальное на этом интервале времени значение скорости V_2 и отрицательное ускорение:

$$s_{2,3}(t) = (t - t_2) \cdot V_2 + (t - t_2)^2 \cdot (-a_{\max}) / 2. \quad (5)$$

Подстановка численных значений дает значение пройденного пути на интервале времени от t_2 до t_3 : $s_{2,3} = 2000$ метров. Для построения графика необходимо по выражению (7) вычислить несколько промежуточных значений.

График пути, построенный по вычисленным данным, представлен на рисунке 4.

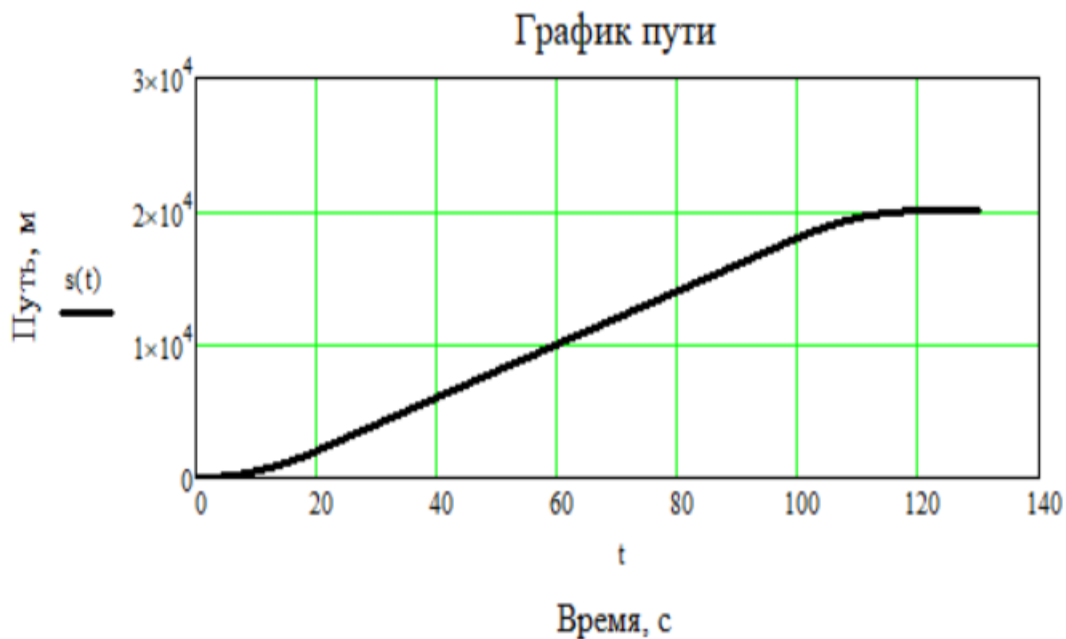


Рисунок 4 График пути, построенный по вычисленным данным