



Многопрофильная инженерная олимпиада «Звезда» «Приборостроение»

11 класс

Заключительный этап

2024-2025

Задания, ответы и критерии оценивания

ЗАДАЧА 1 (10 баллов)

Рулеткой измерили длину двух секций забора. Результат измерения длины первой секции составил $L_1 = 100$ см, второй – $L_2 = 200$ см. Затем той же рулеткой измерили общую длину двух секции, результат составил $L_{12} = 290$ см. Определите поправку, которую нужно внести в результаты измерений и найдите источник погрешности измерений.

Решение:

Предположим, что все результаты измерений содержат аддитивную погрешность Δ . Тогда истинное значение длины первой секции забора составит:

$$X_1 = L_{12} - L_2 = 290 \text{ см} - 200 \text{ см} = 90 \text{ см}.$$

Аналогично, истинное значение длины второй секции забора составит:

$$X_2 = L_{12} - L_1 = 290 \text{ см} - 100 \text{ см} = 190 \text{ см}.$$

Тогда, истинное значение общей длины двух секций составит:

$$X_{12} = X_1 + X_2 = 90 \text{ см} + 190 \text{ см} = 280 \text{ см}.$$

Таким образом, все три результата измерений превосходят истинные значения на одну и ту же величину погрешности $\Delta = 10$ см, тогда величина поправки с учетом обратного знака составит:

$$C = -\Delta = -10 \text{ см}.$$

Поскольку погрешность носит аддитивный характер, то можно предположить, что источником погрешности является рулетка: например, полотно ленты обломилось на кончике рулетки, поэтому шкала рулетки начинается не с 0 см, а с 10 см.

ЗАДАЧА 2 (20 баллов)

Для определения коэффициентов номинальной статической характеристики платинового термопреобразователя (термометра) сопротивления провели эксперимент по его нагреванию в термостате от 50°C до 800°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.

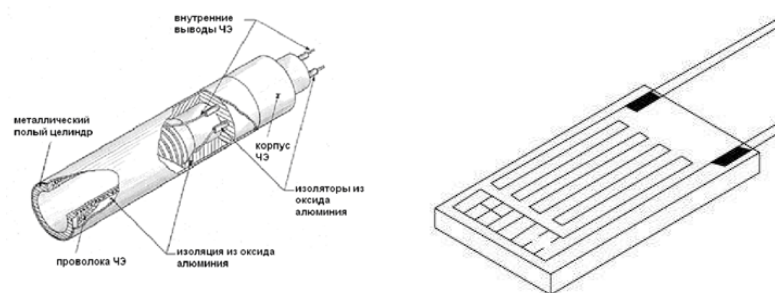


Рис. 1. Виды конструкций термометра сопротивления

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.

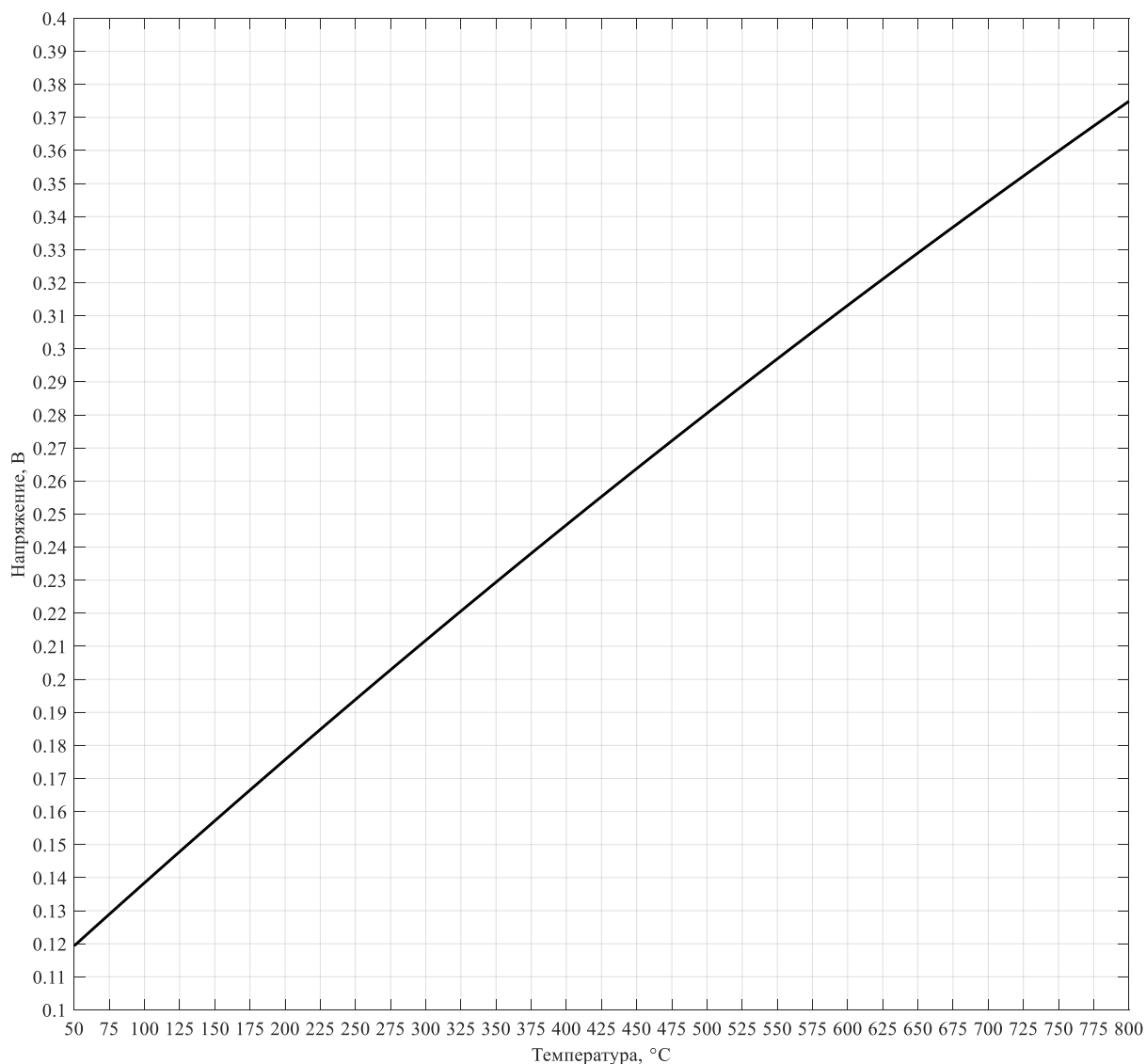


Рис. 2. Зависимость выходного напряжения термометра от температуры

Номинальная статическая характеристика медного термометра сопротивления в диапазоне измеряемых температур (0...850) °С по ГОСТ 6651–2009 описывается уравнением:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2),$$

где R_t – сопротивление термометра при температуре t , °С; R_0 – сопротивление термометра при температуре 0°С; A и B – температурные коэффициенты сопротивления.

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

Решение:

Номинальная статическая характеристика медного термометра сопротивления в диапазоне измеряемых температур (0...200) °С представляет собой квадратичную зависимость, поэтому для определения ее параметров необходимо составить систему из трех уравнений. По графику на рис. 2 найдем значения абсцисс и ординат трех точек диапазона: удобно найти значение напряжения при температуре $t_1=50$ °С, $t_2=500$ °С и $t_3=750$ °С, где $U_1=0,12$ В, $U_2=0,28$ В и $U_3=0,36$ В, соответственно (рис. 3).

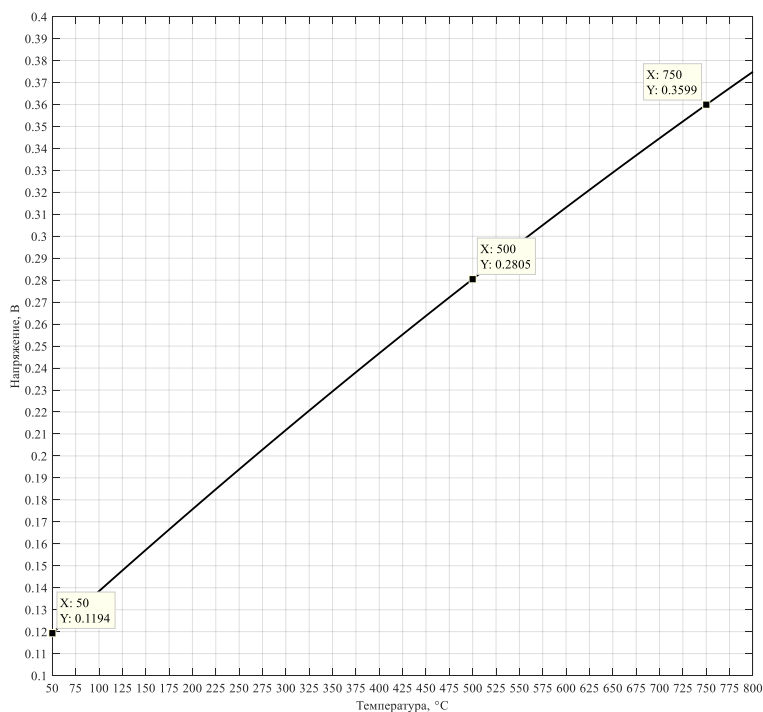


Рис. 3

По закону Ома имеем

$$R_1 = U_1 / I,$$

$$R_2 = U_2 / I,$$

$$R_3 = U_3 / I,$$

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

$$R_1 = 120 \text{ [Ом]} \text{ при } t_1 = 50 \text{ °С}$$

$$R_2 = 280 \text{ [Ом]} \text{ при } t_2 = 500 \text{ °С}$$

$$R_3 = 360 \text{ [Ом]} \text{ при } t_3 = 750 \text{ °С}$$

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

$$R_1 = R_0(1 + At_1 + Bt_1^2)$$

$$R_2 = R_0(1 + At_2 + Bt_2^2)$$

$$R_3 = R_0(1 + At_3 + Bt_3^2)$$

в которой неизвестными являются R_0 – сопротивление термометра при температуре 0°C , A и B – температурные коэффициенты сопротивления.

Из решения системы:

$$120 = R_0(1 + A \cdot 50 + B \cdot 50^2)$$

$$280 = R_0(1 + A \cdot 500 + B \cdot 500^2)$$

$$360 = R_0(1 + A \cdot 750 + B \cdot 750^2)$$

следует

$$R_0 = 101 \text{ [Ом]}$$

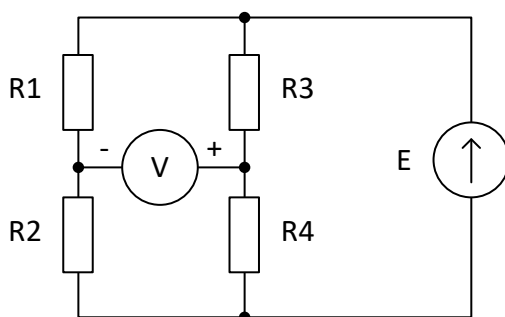
$$A \approx 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ [}^\circ\text{C}^{-1}\text{]}$$

$$B \approx -5,1 \cdot 10^{-7} \text{ [}^\circ\text{C}^{-2}\text{]}$$

Ответ: $R_0 = 101 \text{ [Ом]}$, $A \approx 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ [}^\circ\text{C}^{-1}\text{]}$, $B \approx -5,1 \cdot 10^{-7} \text{ [}^\circ\text{C}^{-2}\text{]}$.

ЗАДАЧА 3 (30 баллов)

Источник ЭДС $E = 14 \text{ [В]}$ подключен к цепи постоянного тока. Определить показания идеального вольтметра (в соответствии с полярностью подключения), если сопротивления резисторов $R_1 = 1 \text{ [Ом]}$, $R_2 = 6 \text{ [Ом]}$, $R_3 = 4 \text{ [Ом]}$, $R_4 = 3 \text{ [Ом]}$.



Решение:

Источник ЭДС подключен к двум параллельным веткам резисторов с эквивалентными сопротивлениями последовательного соединения $R_1 + R_2 = 1 \text{ [Ом]} + 6 \text{ [Ом]} = 7 \text{ [Ом]}$ и $R_3 + R_4 = 3 \text{ [Ом]} + 4 \text{ [Ом]} = 7 \text{ [Ом]}$. По закону Ома, протекающие токи в обеих ветвях равны 2 [А] . Потенциал отрицательного зажима вольтметра составляет $2 \text{ [А]} \cdot 6 \text{ [Ом]} = 12 \text{ [В]}$. Потенциал положительного зажима вольтметра составляет $2 \text{ [А]} \cdot 3 \text{ [Ом]} = 6 \text{ [В]}$. Разность положительного и отрицательного потенциалов на зажимах вольтметра составляет -6 [В] .

Ответ: -6 [В].

Примечание: При правильном определении модуля показаний и неправильном определении направления рекомендуется засчитать 70-80% баллов решения задачи.

ЗАДАЧА 4 (40 баллов)

Проектная навигационная задача (на основе механики относительного движения в поле тяготения Земли)

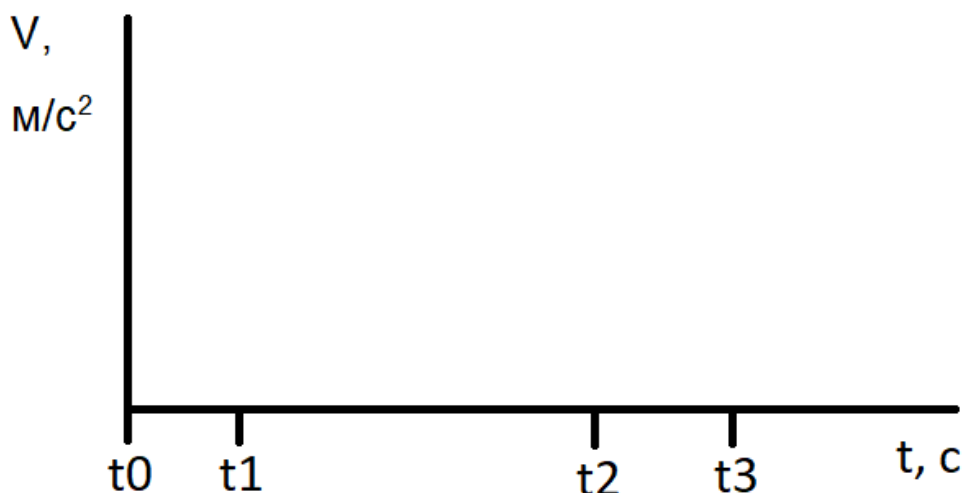
Летательный аппарат (ЛА) стартует с поверхности Земли. Движение по вертикали, связанное с подъемом ЛА, задается в виде интервальных значений ускорений в моменты времени t_0 , t_1 , t_2 , t_3 . На интервале времени от t_0 до t_1 ускорение вертикального полета является постоянным положительным $+2 \cdot a_{\max}$, причем в него входит и ускорение свободного падения g . На интервале времени от t_1 до t_2 ускорение вертикального полета равно ускорению свободного падения g . На интервале времени от t_2 до t_3 ускорение вертикального полета является постоянным отрицательным $-a_{\max}$, причем в него входит и ускорение свободного падения g . Ускорения вертикального поступательного движения ЛА измеряются акселерометром с вертикальной осью чувствительности, установленным на его борту.

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

Требуется:

1. Вычислить значения скоростей и высоты подъема ЛА, в том числе на каждом временном интервале.
2. Построить в масштабе графики ускорений, скоростей и высоты подъема ЛА.

Формат графиков представлен на рисунке 1.



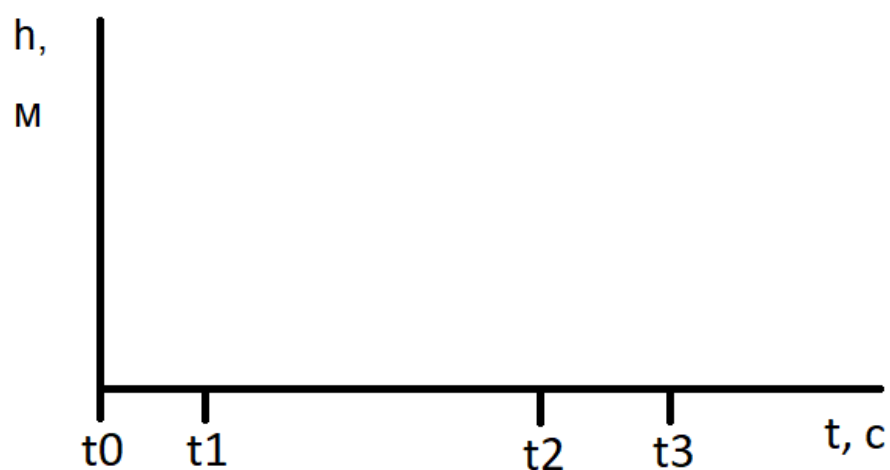
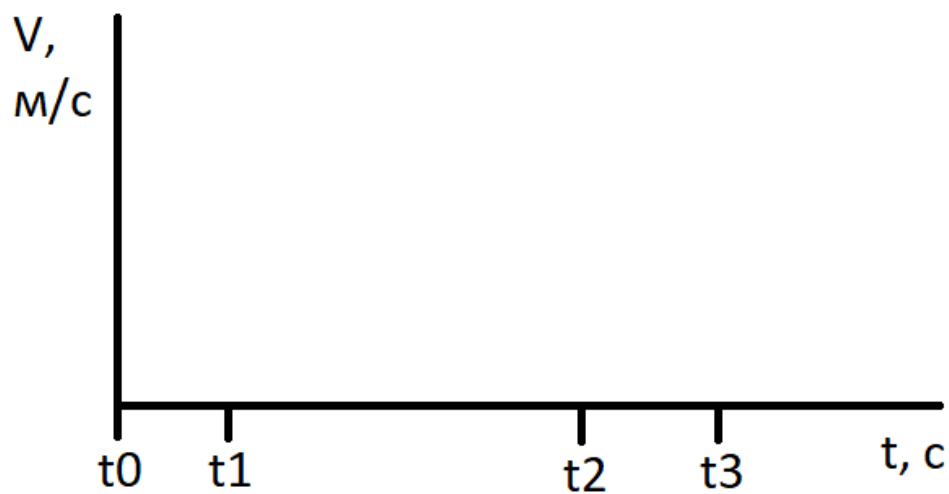


Рисунок 1 Формат представления графиков

Решение

На рисунке 1 представлен график ускорений, построенный по исходным данным.

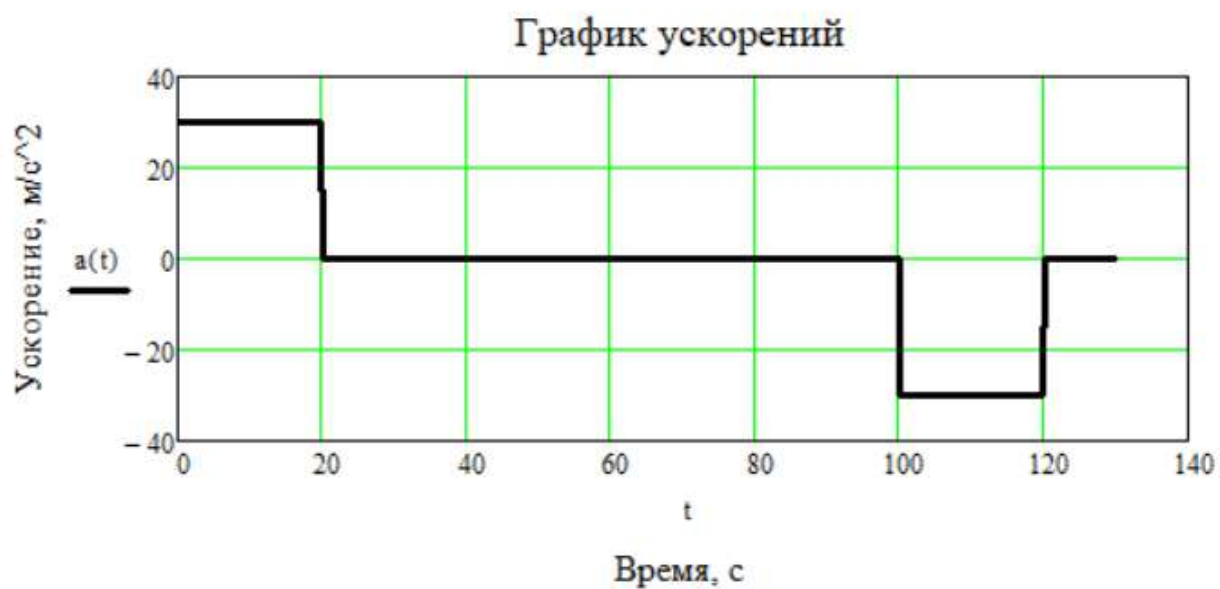


Рисунок 1 График ускорений, построенный по исходным данным

На интервале времени от t_0 до t_1 скорость вычисляется по формуле (1) через разность заданного по условию ускорения и ускорения свободного падения g , которое в данном случае считается «кажущимся» в показаниях акселерометра.

$$V_{0,1n}(t) = (t-t_0) \cdot (2 \cdot a_{\max} - g). \quad (1)$$

Подстановка численных значений дает значение скорости в конце интервале времени от t_0 до t_1 : $V_1 = 600$ м/с.

На следующем интервале времени от t_1 до t_2 скорость остается неизменной и равной $V_2 = 600$ 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). На этом этапе ускорение, создаваемое двигательной установкой ЛА, совпадает по направлению с ускорением свободного падения g .

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

Подстановка численных значений дает значение скорости в конце интервале времени от t_2 до t_3 : $V_3 = 0$ м/с. Промежуточные значения скорости вычисляются по выражению (2).

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

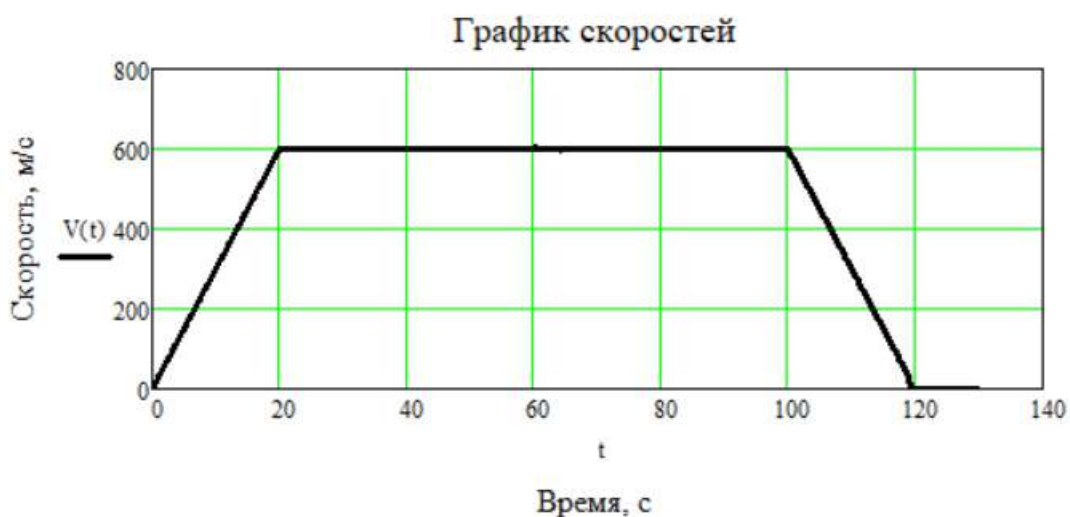


Рисунок 3 График скоростей, построенный по вычисленным данным

Скорость движения ЛА является переменной на интервале времени от t_0 до t_1 из-за наличия ускорения. Поэтому для построения графика высоты ЛА 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):

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

Например, для средней точки временного интервала $t=10$ с, получается $s_{0,1}(t) = 1500$ м. В конце интервала высота подъёма ЛА принимает значение 6000 м.

На интервале времени от t_1 до t_2 набор высоты вычисляется по формуле (4) через постоянное на этом интервале времени значение скорости $V_2=600$ м/с:

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

Подстановка численных значений дает значение набранной высоты на интервале времени от t_1 до t_2 : $s_{1,2} = 48000$ 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:

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

Подстановка численных значений дает значение пройденного пути на интервале времени от t_2 до t_3 : $s_{2,3} = 6000$ метров. Для построения графика необходимо по выражению (5) вычислить несколько промежуточных значений.

График высоты подъёма ЛА, построенный по вычисленным данным, представлен на рисунке 4.

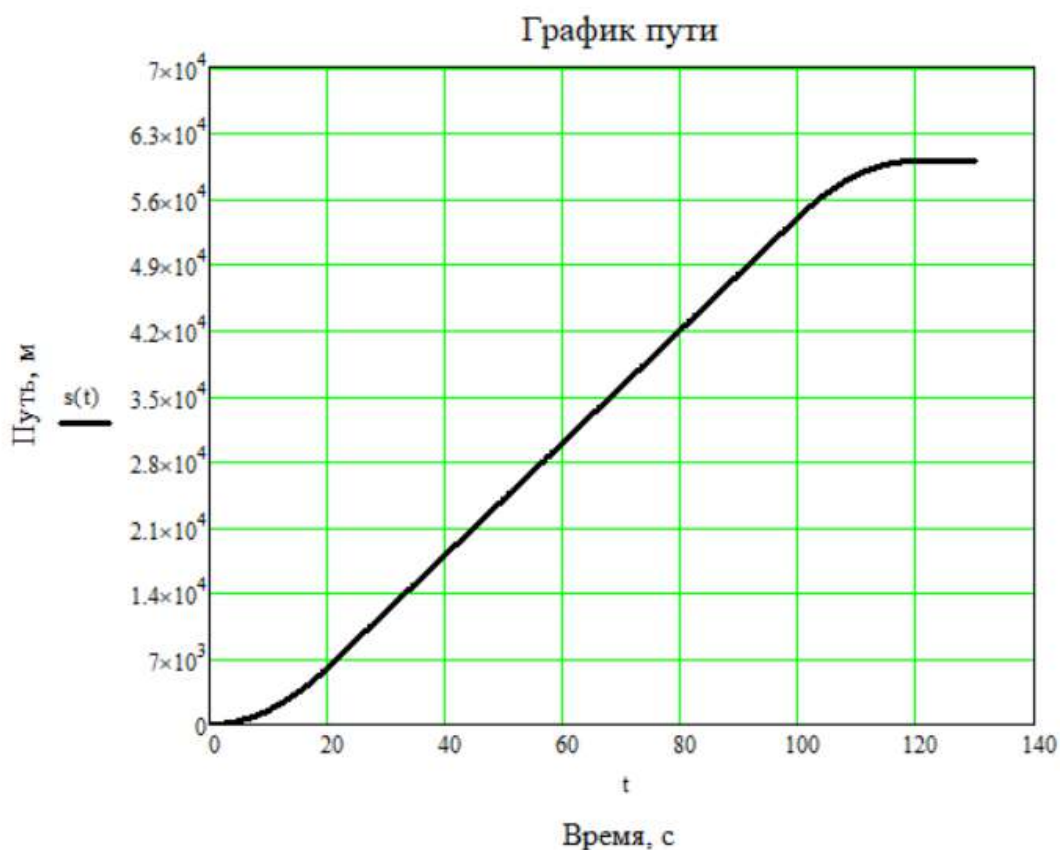


Рисунок 4 График высоты, построенный по вычисленным данным