ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ФИЗИКА. 2026–2027 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 9 КЛАСС

ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Максимальный балл за работу – 50 баллов.

Задание № 1.

Вертикальное движение

Камень бросили с некоторой высоты h над поверхностью земли вертикально вверх. Через время $t_1 = \tau = 3$ с его скорость оказалась равной по модулю начальной скорости v_0, а через время $t_2 = 2\tau$ (с момента бросания) он достиг поверхности земли. Пренебрегая сопротивлением воздуха и считая ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2, ответьте на следующие вопросы:

Вопрос 1. Чему равна начальная скорость v_0 камня? Дайте ответ в м/с с округлением до целого числа. **(2 балла)**

Вопрос 2. Какой максимальной высоты H над землёй достиг камень при полёте? Дайте ответ в метрах с округлением до целого числа. **(3 балла)**

Вопрос 3. Чему равен модуль вектора перемещения камня S за время его полёта? Дайте ответ в метрах с округлением до целого числа. **(3 балла)**

Вопрос 4. Чему равна средняя путевая скорость камня $v_{\text{ср}}$ за время всего полёта? Дайте ответ в м/с с округлением до целого числа. **(2 балла)**

Вопрос 5. Чему равна средняя путевая скорость камня $v_{\text{ср2}}$ на второй половине его пути? Дайте ответ в м/с с округлением до целого числа. **(3 балла)**

Критерии оценивания: точное совпадение с ответом.

Максимальный балл за задание – 13 баллов.

Матрица параметров к вариантам задания 1.

№ варианта	τ, с
1	3
2	4
3	2
4	5
5	6

Решение:

Камень после полёта вверх развернётся и будет двигаться вниз. Через время τ его скорость станет равной начальной. Тогда можно записать закон изменения скорости так:

$$-v_0 = v_0 - g\tau.$$

Тогда начальная скорость может быть вычислена как:

$$v_0 = \frac{1}{2}g\tau = 15\,\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Камень поднимается до верхней точки и опускается вниз до точки броска одинаковое время. Значит, от верхней точки полёта до поверхности земли камень летел время равное:

$$t = t_2 - \frac{t_1}{2} = 1{,}5\tau.$$

Тогда расстояние, которое он пролетит от верхней точки полёта до поверхности земли, может быть рассчитано как:

$$H = \frac{gt^2}{2} = \frac{9}{8}g\tau^2 \approx 101 \text{ м}.$$

Максимальная высота камня над точкой броска составит:

$$H' = \frac{g(\tau/2)^2}{2}.$$

Тогда модуль перемещения камня будет равен расстоянию между начальной и конечной точкой полёта:

$$S = h = H - H' = g\tau^2 = 90 \text{ м}.$$

За всё время камень пройдёт путь, равный $2H - h$. Тогда его средняя путевая скорость составит:

$$v_{\text{ср}} = \frac{2H - h}{2\tau} = \frac{5}{8}g\tau \approx 19\,\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Рассчитаем, за какое время камень пройдёт от верхней точки до начала второй половины пути:

$$H - \frac{2H - h}{2} = \frac{h}{2} = \frac{g\tau^2}{2} = \frac{gt_3^2}{2}.$$

$$t_3 = \tau.$$

Тогда средняя путевая скорость на второй половине пути составит:

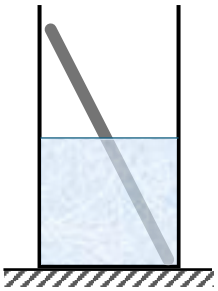
$$v_{\text{ср2}} = \frac{2H - h}{2(1{,}5\tau - t_3)} = \frac{5}{4}g\tau \approx 38\,\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Матрица ответов к вариантам задания 1.

№ варианта	$\boldsymbol{v_0}$, м/с	$\boldsymbol{H}$, м	$\boldsymbol{S}$, м	$\boldsymbol{v_{ср}}$, м/с	$\boldsymbol{v_{ср2}}$, м/с
1	15	101	90	19	37; 38
2	20	180	160	25	50
3	10	45	40	12; 13	25
4	25	281	250	31	62; 63
5	30	405	360	37; 38	75

Задание № 2.

Стержень в сосуде



Тонкий алюминиевый стержень массой $m = 0{,}5$ кг и длиной $l = 40$ см находится в цилиндрическом сосуде диаметром $d = 20$ см, частично заполненном водой, как показано на рисунке. При этом стержень наполовину погружён в воду и опирается на дно и стенки сосуда. Плотность воды $\rho_0 = 1{,}0$ г/см^3, плотность алюминия $\rho = 2{,}7$ г/см^3. Пренебрегая трением стержня о дно и стенки сосуда и считая ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2, ответьте на следующие вопросы:

Вопрос 1. Чему равна высота h уровня воды в сосуде? Дайте ответ в см с округлением до целого числа. **(2 балла)**

Вопрос 2. С какой силой F_1 стержень давит на дно сосуда? Дайте ответ в Н с округлением до десятых долей. **(3 балла)**

Вопрос 3. С какой силой F_2 верхний конец стержня давит на стенку сосуда? Дайте ответ в Н с округлением до десятых долей. **(3 балла)**

Вопрос 4. С какой силой F_3 нижний конец стержня давит на стенку сосуда? Дайте ответ в Н с округлением до десятых долей. **(1 балл)**

Критерии оценивания: точное совпадение с ответом.

Максимальный балл за задание – 9 баллов.

Матрица параметров к вариантам задания 2.

№ варианта	$\boldsymbol{m}$, кг	$\boldsymbol{l}$, см	$\boldsymbol{d}$, см
1	0,5	40	20
2	0,6	30	20
3	0,45	35	15
4	0,7	60	20
5	0,8	40	25

Решение:

Разница уровней между верхним и нижним концами стержня может быть рассчитана по теореме Пифагора. Высота уровня воды при этом в два раза меньше этого значения, так как стержень погружён в воду наполовину:

$$h = \frac{1}{2}\sqrt{l^2 - d^2} \approx 17 \text{ см}.$$

На стержень действуют три силы реакции опоры: F_1, F_2, F_3. Также действует сила тяжести, которую можно рассчитать как:

$$mg = \rho V g,$$

где V – объём стержня, и сила Архимеда:

$$F_A = \rho_0 \frac{V}{2} g = mg\frac{\rho_0}{2\rho}.$$

Запишем равенство нулю сил, действующих на стержень, в проекции на вертикальную ось:

$$mg = F_A + F_1.$$

Тогда сила давления стержня на дно сосуда:

$$F_1 = mg - F_A = mg\left(1 - \frac{\rho_0}{2\rho}\right) \approx 4{,}1 \text{ Н}.$$

Запишем уравнение моментов сил относительно нижней точки стержня:

$$F_2\sqrt{l^2 - d^2} + F_A\frac{d}{4} = mg\frac{d}{2}.$$

Тогда величина силы F_2:

$$F_2 = mg\frac{d\left(2 - \frac{\rho_0}{2\rho}\right)}{4\sqrt{l^2 - d^2}} \approx 1{,}3 \text{ Н}.$$

Силе F_2 противодействует единственная сила F_3, также направленная горизонтально. Следовательно, эти силы равны друг другу:

$$F_3 = F_2 \approx 1{,}3 \text{ Н}.$$

Матрица ответов к вариантам задания 2.

№ варианта	h, см	F_1, Н	F_2, Н	F_3, Н
1	17	4,1	1,3	1,3
2	11	4,9	2,4	2,4
3	16	3,7	1,0	1,0
4	28	5,7	1,1	1,1
5	16	6,5	2,9	2,9

Задание № 3.

Тройной теплообмен

Теплообмен между большими телами A и B, температуры которых поддерживаются постоянными, происходит через тело-посредник C. Тело C имеет высокую теплопроводность, что позволяет считать его температуру практически одинаковой в разных его точках. Температуры тел A и B равны $t_{\text{A}} = 100\ ℃$ и $t_{\text{B}} = 0\ ℃$ соответственно. Температура тела C постоянна. Коэффициент теплопередачи между телами A и C: $k_{\text{AC}} = 10$ Вт/℃, а коэффициент теплопередачи между телами C и B: $k_{\text{CB}} = 2{,}5$ Вт/℃.

Вопрос 1. Найдите температуру t_{C} тела C. Ответ выразите в градусах Цельсия с округлением до целого числа. **(3 балла)**

Вопрос 2. Чему равна мощность теплопередачи q_{AB} от тела A к телу B? Ответ выразите в Вт с округлением до целого числа. **(2 балла)**

Вопрос 3. Чему равен коэффициент теплопередачи k_{AB} от тела A к телу B? Ответ выразите в Вт/℃ с округлением до десятых долей. **(2 балла)**

***Примечание**. Мощность теплопередачи q (количество теплоты, передаваемое в единицу времени) от горячего тела с температурой $t_{\text{г}}$ к холодному с температурой $t_{\text{х}}$ в соответствии с законом Ньютона – Рихмана пропорциональна разности температур этих тел: $q = k(t_{\text{г}} - t_{\text{х}})$, где величину k называют коэффициентом теплопередачи.*

Критерии оценивания: точное совпадение с ответом.

Максимальный балл за задание – 7 баллов.

Матрица параметров к вариантам задания 3.

№ варианта	t_{A}, ℃	t_{B}, ℃	k_{AC}, Вт/℃	k_{CB}, Вт/℃
1	100	0	10	2,5
2	100	20	12	3
3	80	0	16	4
4	100	40	6	4
5	80	10	3	2

Решение:

Так как температура тела C остаётся постоянной, то мощность теплопередачи от тела A к телу C равна мощности теплопередачи от тела C к телу B:

$$k_{\text{AC}}(t_{\text{A}} - t_{\text{C}}) = k_{\text{CB}}(t_{\text{C}} - t_{B}).$$

Таким образом, температура тела С может быть рассчитана как:

$$t_{\mathrm{C}} = \frac{t_{\mathrm{A}}k_{\mathrm{AC}} + t_{\mathrm{B}}k_{\mathrm{CB}}}{k_{\mathrm{AC}}+k_{\mathrm{CB}}} = 80\ ℃.$$

Мощность теплопередачи между телами А и В равна мощности теплопередачи от тела А к телу С:

$$q_{\mathrm{AB}} = q_{\mathrm{AC}} = k_{\mathrm{AC}}(t_{\mathrm{A}} - t_{\mathrm{C}}) = k_{\mathrm{AC}}\left(t_{\mathrm{A}} - \frac{t_{\mathrm{A}}k_{\mathrm{AC}}+t_{\mathrm{B}}k_{\mathrm{CB}}}{k_{\mathrm{AC}}+k_{\mathrm{CB}}}\right) = (t_{\mathrm{A}} - t_{\mathrm{B}})\left(\frac{k_{\mathrm{AC}}k_{\mathrm{CB}}}{k_{\mathrm{AC}}+k_{\mathrm{CB}}}\right) = 200\ \text{Вт}.$$

Видно, что мощность теплопередачи между телами А и В пропорциональна разности их температур. Коэффициент пропорциональности будет являться коэффициентом теплопередачи от тела А к телу В:

$$k_{AB} = \frac{q_{\mathrm{AB}}}{t_{\mathrm{A}}-t_{\mathrm{B}}} = \frac{k_{\mathrm{AC}}\cdot k_{\mathrm{CB}}}{k_{\mathrm{AC}}+k_{\mathrm{CB}}} = 2{,}0\ \text{Вт}/℃.$$

Матрица ответов к вариантам задания 3.

№ варианта	$\boldsymbol{t_{\mathrm{C}}}$, ℃	$\boldsymbol{q_{\mathrm{AB}}}$, Вт	$\boldsymbol{k_{AB}}$, Вт/℃
1	80	200	2,0
2	84	192	2,4
3	64	256	3,2
4	76	144	2,4
5	52	84	1,2

Задание № 4.

Классическая задача

Был проведён опыт по измерению вольт-амперной характеристики красного диода. Для этого собрали электрическую цепь из компонентов, изображённых на рисунке 1. Для измерений использовали два мультиметра, левый подключили к резистору, а правый к диоду.



Рис. 1. Компоненты электронной схемы:
1 – перемычки; 2 − резистор номиналом 100 Ом; 3 – светодиод; 4 − переменный многооборотный резистор;
5 – движковый потенциометр; 6 – гальванический источник питания.

Видеозапись проведённого эксперимента доступна по ссылке:

https://disk.yandex.ru/i/ChuQQ1RLMknAIQ

Вопрос 1. Какой ток I_1 протекает через диод при напряжении на нём, равном $U_1 = 2{,}12$ В? Дайте ответ в мА с округлением до десятых долей. **(1 балл)**

Вопрос 2. Какой ток I_2 протекает через диод при напряжении на нём, равном $U_2 = 2{,}09$ В? Дайте ответ в мА с округлением до десятых долей. **(2 балла)**

Вопрос 3. Цепь из такого светодиода и резистора, соединенных последовательно, подключают к идеальному источнику питания с напряжением, равным $E = 2{,}40$ В. Какое сопротивление r необходимо выбрать, чтобы ток в цепи был равным $I = 5{,}1$ мА? Дайте ответ в омах с округлением до целого числа. **(3 балла)**

Вопрос 4. Какой ток I' пойдёт в цепи, если вместо расчётного сопротивления в пункте 3 поставить резистор с сопротивлением в $n = 2$ раза большим? Дайте ответ в мА с округлением до десятых долей. **(3 балла)**

Критерии оценивания:
вопросы 1-2 - точное совпадение с ответом
вопросы 3 - 4 - попадание в диапазон.

Максимальный балл за задание – 9 баллов.

Матрица параметров к вариантам задания 4.

№ варианта	$\boldsymbol{U_1}$, В	$\boldsymbol{U_2}$, В	$\boldsymbol{I}$, мА
1	2,12	2,09	5,1
2	2,06	2,03	5,6
3	2,00	1,97	7,2
4	1,94	1,93	6,7
5	1,919	1,91	4,1

Решение:

При напряжении на диоде, равном $U_1 = 2{,}12$ В, показания левого мультиметра составляют $U_{R1} = 0{,}777$ В. Так как сопротивление резистора составляет $R = 100$ Ом, то сила тока составляет:

$$I_1 = \frac{U_{R1}}{R} = 7{,}77 \text{ мА} \approx 7{,}8 \text{ мА}.$$

В процессе измерений не исследовалась экспериментальная точка, соответствующая напряжению U_2, поэтому проведём интерполяцию экспериментальных данных. Ближайшие измеренные точки вольтамперной характеристики имеют значения:

$$U_1 = 2{,}12 \text{ В}; I_1 = 7{,}77 \text{ мА}.$$

$$U_3 = 2{,}06 \text{ В}; I_3 = 6{,}15 \text{ мА}.$$

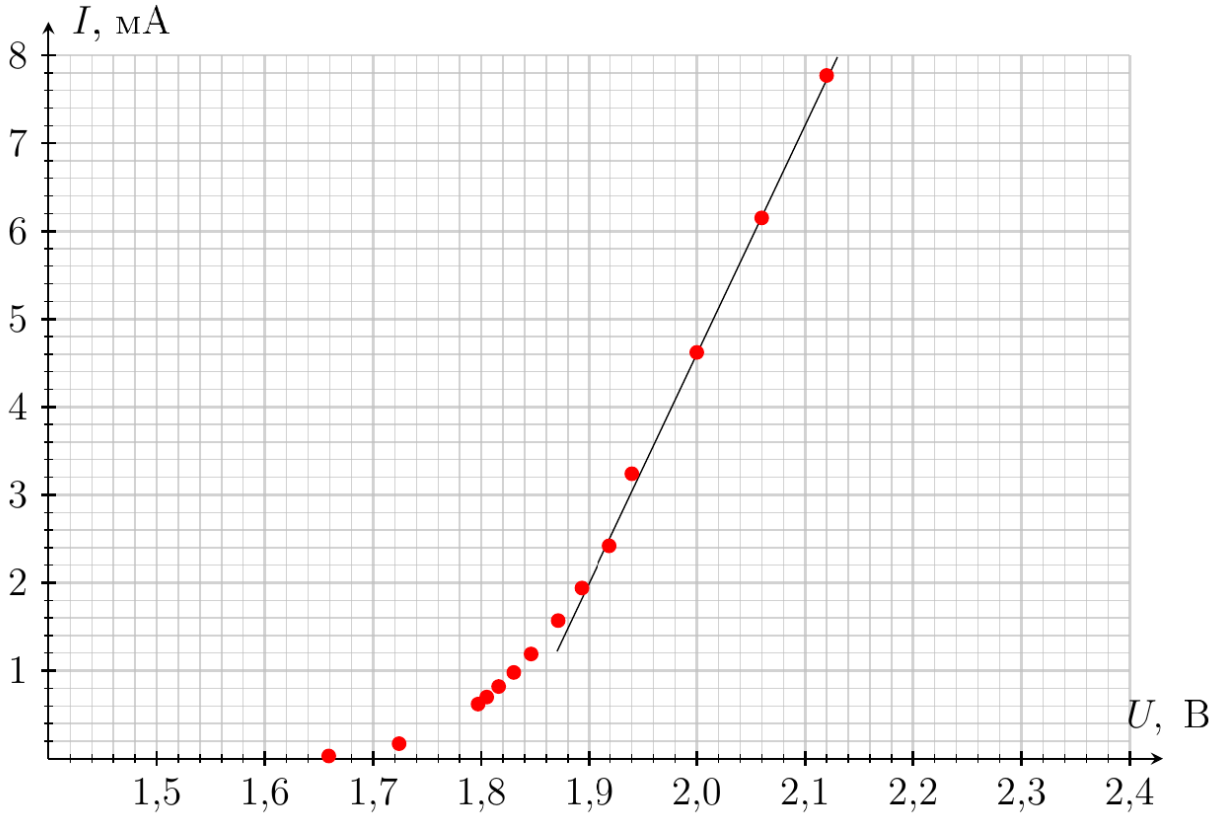
Тогда промежуточное значение может быть рассчитано как:

$$I_2 = I_3 + \frac{I_1 - I_3}{U_1 - U_3}(U_1 - U_2) \approx 7{,}0 \text{ мА}.$$

Аналогичный вывод можно сделать с помощью графика зависимости тока от напряжения. Для этого запишем все показания приборов и построим соответствующий график.

U, В	U_{R1}, В	I, мА
2,12	0,777	7,77
2,06	0,615	6,15
2,00	0,462	4,62
1,94	0,324	3,24
1,919	0,242	2,42
1,893	0,194	1,94
1,871	0,157	1,57
1,846	0,119	1,19
1,83	0,098	0,98
1,816	0,082	0,82
1,805	0,07	0,70
1,797	0,062	0,62
1,724	0,017	0,17
1,659	0,003	0,03
0	0	0

Аппроксимируем экспериментальные точки в интересующем диапазоне прямой линией.

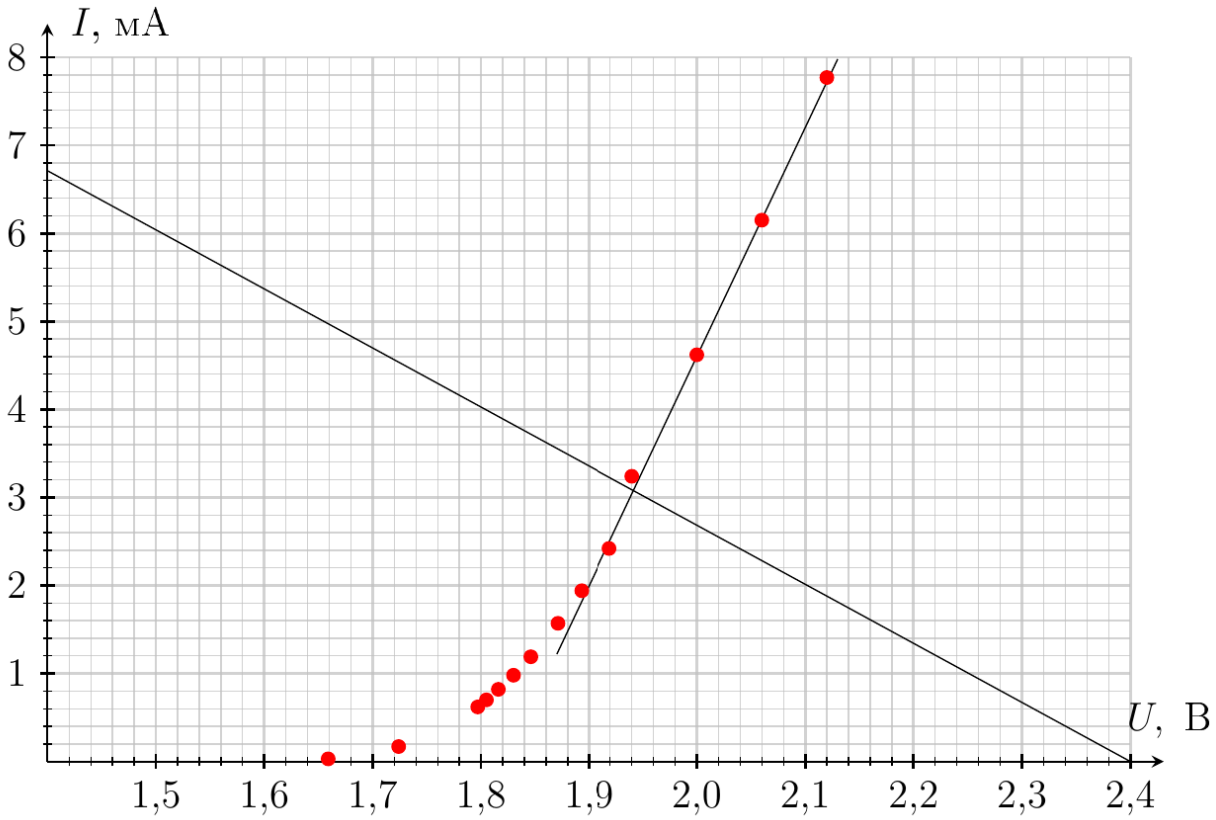


При силе тока $I = 5{,}1$ мА на диоде падает напряжение, равное $U = 2{,}02$ В. Тогда падение напряжения на резисторе должно составлять $U_R = E - U = 0{,}38$ В.

Тогда сопротивление резистора составит:

$$r = \frac{U_R}{I} = 74{,}5 \approx 75 \text{ Ом}.$$

Для расчёта силы тока при использовании резистора с сопротивлением, в 2 раза большим, построим нагрузочную прямую, соответствующую такому сопротивлению.



Пересечение графика ВАХ и нагрузочной прямой даст значение силы тока $I' = 3{,}1$ мА.

Матрица ответов к вариантам задания 4.

№ варианта	$\boldsymbol{I_1}$, мА	$\boldsymbol{I_2}$, мА	$\boldsymbol{r}$, Ом	$\boldsymbol{I'}$, мА
1	7,8	7,0; 6,9; 7,1	[73;76]	[3,0; 3,2]
2	6,1; 6,2	5,4; 5,3; 5,2	[63;65]	[3,4; 3,6]
3	4,6	3,8; 3,9	[41;43]	[4,7; 4,9]
4	3,2	2,8; 2,9	[47;49]	[4,2; 4,4]
5	2,4	2,3; 2,2	[100;105]	[2,3;2,5]

Задание № 5.

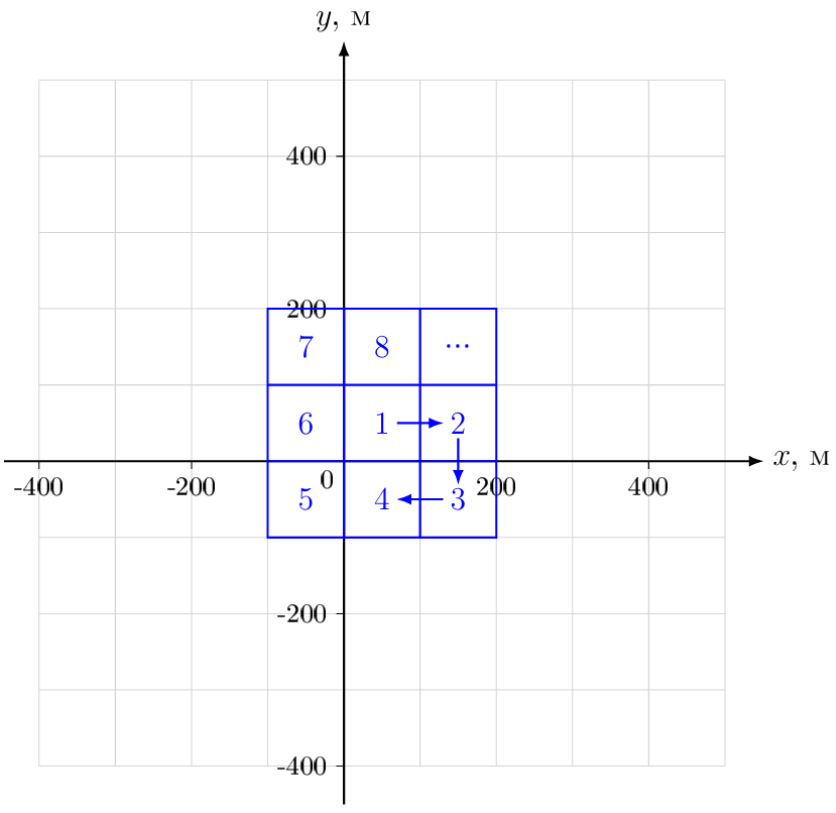
Спасательная операция

Начинающий грибник заблудился в лесу. К счастью, у него был при себе мобильный телефон, так что он смог позвонить в службу спасения. Положение грибника задаётся координатами (x, y), ось x направлена с запада на восток, ось y – с юга на север; сразу после звонка грибник находился в точке с координатами $(0;\ 0)$. После звонка в ожидании спасателей он медленно смещался, так что проекции его скорости равнялись $v_x = 2\,\frac{\text{м}}{\text{мин}}$ и $v_y = 1{,}5\,\frac{\text{м}}{\text{мин}}$.

Через $t_1 = 80$ мин после звонка в точку $(0;\ 0)$ прибыла поисково-спасательная группа.

Вопрос 1. Какой путь S_1 прошёл грибник после звонка до момента прибытия спасателей? Дайте ответ в метрах с округлением до целого числа. **(1 балл)**

Для проведения спасательной операции территорию леса разбили на квадратные участки размером 100 м × 100 м и обозначили их числами 1, 2, 3 и так далее, так что последовательность участков образует квадратную спираль (см. рис.). Спасатели обследуют квадратный участок за время $T = 5$ мин, после чего переходят на следующий по счёту квадрат. Переход между соседними квадратами считайте мгновенным. В момент прибытия группа сразу начала обследовать участок № 1.



Каков диапазон возможных расстояний между грибником и спасателями через время $t_2 = 22$ мин после прибытия спасателей, если известно, что спасатели в этот момент находились где-то внутри обследуемого ими квадрата?

Вопрос 2. Укажите минимальное $d_{(min)}$ значение расстояния. Дайте ответ в метрах с округлением до целого числа. **(2 балла)**

Вопрос 3. Укажите максимальное $d_{(\max)}$ значение расстояния. Дайте ответ в метрах с округлением до целого числа. **(2 балла)**

Грибник считается найденным группой, если в момент начала обследования некоторого квадрата он находится в этом квадрате.

Вопрос 4. Через какое время t_3 после прибытия спасатели найдут грибника? Дайте ответ в минутах с округлением до целого числа. **(4 балла)**

Вопрос 5. Какое максимальное время $T_{\max}$ могут потратить спасатели на обследование одного участка, чтобы обнаружить грибника? Дайте ответ в минутах с округлением до десятых долей. **(3 балла)**

Критерии оценивания: точное совпадение с ответом

Максимальный балл за задание – 12 баллов.

Матрица параметров к вариантам задания 5.

№ варианта	t_1, **мин**	T, мин	t_2, мин
1	80	5	22
2	82	4	19
3	85	5	23
4	78	4	18
5	75	5	24

Решение:

Рассчитаем расстояние между грибником и точкой его старта к моменту прибытия спасателей по теореме Пифагора:

$$S = \sqrt{(v_x t_1)^2 + (v_y t_1)^2} = 200 \text{ м}.$$

Спустя время t_2 после прибытия спасателей грибник находился в точке с координатами:

$$x_2 = v_x(t_1 + t_2) = 204 \text{ м},$$
$$y_2 = v_y(t_1 + t_2) = 153 \text{ м}.$$

К этому моменту времени спасатели находились в

$$N = \left[\frac{t_2}{T}\right] + 1 = 5 \text{ квадрате.}$$

Минимальные и максимальные значения координат спасателей в этом квадрате:

$$x_{\min} = -100 \text{ м};\ y_{\min} = -100 \text{ м};$$

$$x_{\max} = 0 \text{ м};\ y_{\max} = 0 \text{ м}.$$

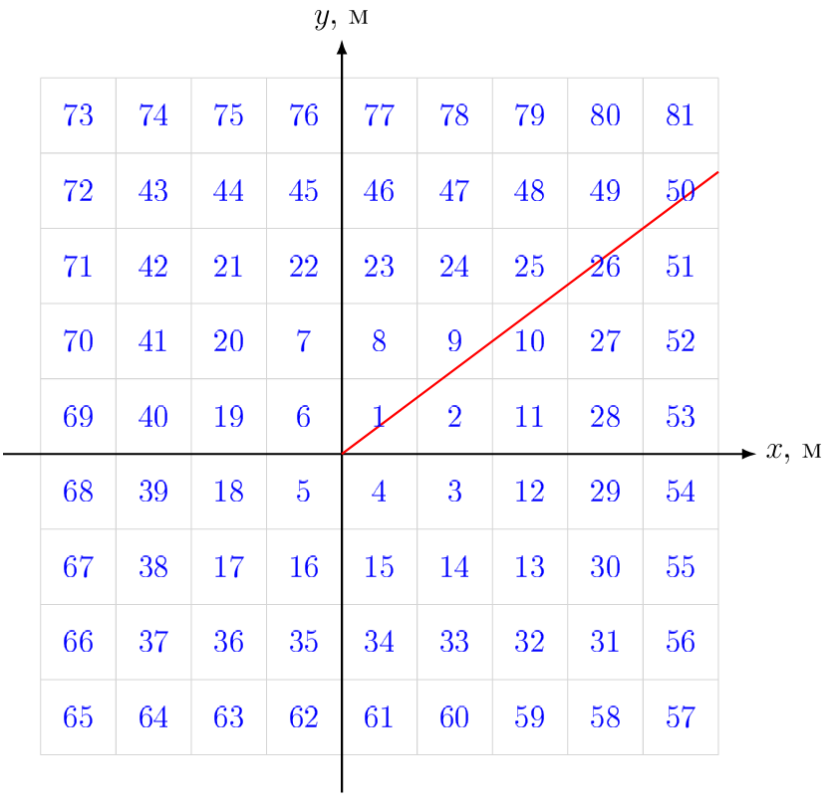
Таким образом, минимальное расстояние между грибником и спасателями составляет:

$$d_{\min} = \sqrt{(x_2 - x_{\max})^2 + (y_2 - y_{\max})^2} = 255 \text{ м}.$$

А максимальное расстояние равно:

$$d_{\max} = \sqrt{(x_2 - x_{\min})^2 + (y_2 - y_{\min})^2} \approx 396 \text{ м}.$$

Пронумеруем все квадраты на карте и нарисуем траекторию движения грибника. Это позволит определить, какие квадраты пересекает траектория грибника (их номера 1, 2, 9, 10, 25, 26, 50…).

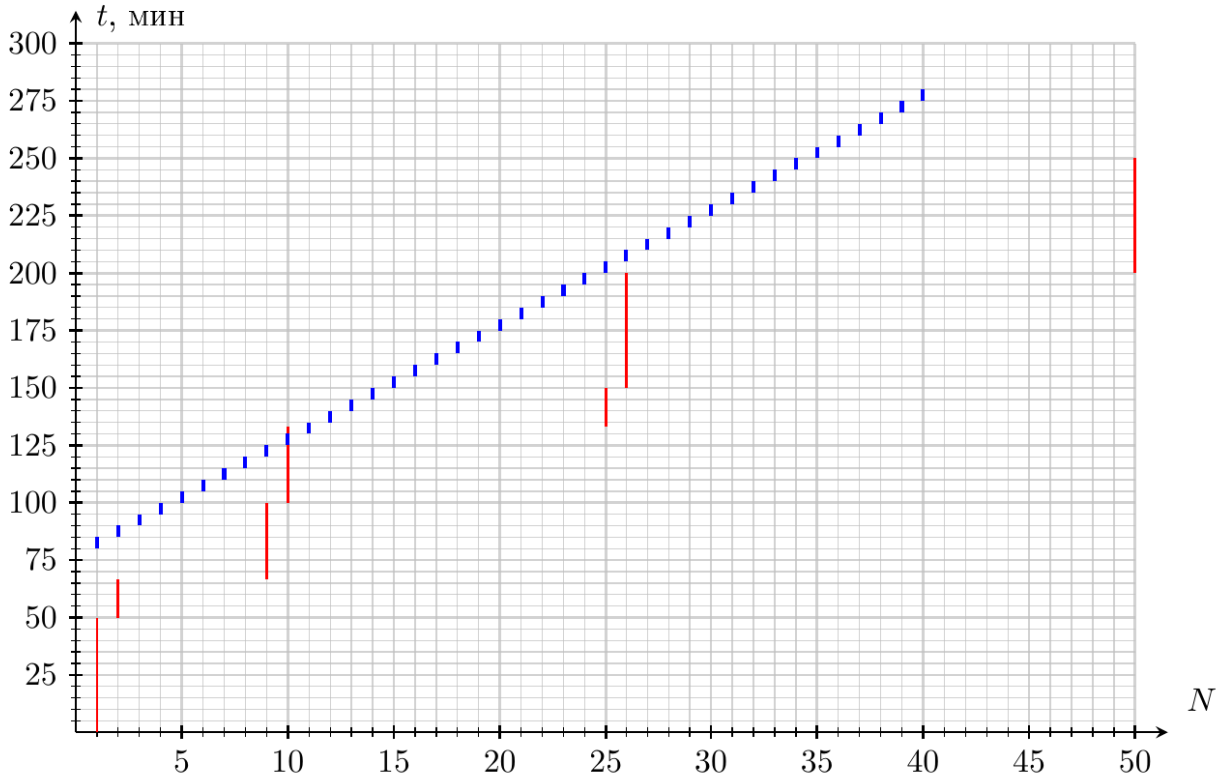


Рассчитаем диапазоны времени пребывания грибника в этих квадратах и нанесём эти данные на график зависимости времени после звонка t от номера квадрата N (красные отрезки). Также нанесём на этот график диапазоны времени пребывания в квадратах поискового отряда (синие отрезки). В данном случае видно, что пересечение красного и синего отрезков произошло для $N = 10$ квадрата. Поисковый

отряд прибыл в этот квадрат спустя $t_3 = (N-1)T = 45$ минут после начала поисков.

На графике видно, что увеличение времени обследования одного квадрата поисковой группой может привести к тому, что грибника никогда не найдут. Максимально допустимое время обследования соответствует случаю, когда грибник покидает 10 квадрат в тот момент, когда поисковая группа переходит на него. Грибник покидает 10 квадрат спустя промежуток времени $t_4 = \frac{200\text{ м}}{v_y} - t_1$ после прибытия спасателей. Таким образом, максимальное время на исследование одного квадрата составит:

$$T_{\max} = \frac{t_4}{N-1} \approx 5{,}9 \text{ минут.}$$



Матрица ответов к вариантам задания 5.

№ варианта	s, м	$d_{\min}$, м	$d_{\max}$, м	t_3, мин	T_{max}, мин
1	200	255	395; 396	45	5,9
2	205	252; 253	393	36	5,7
3	212; 213	270	410; 411	45	5,4; 5,3
4	195	240	380; 381	36	6,1
5	187; 188	247; 248	388	45	6,5; 6,4