ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ФИЗИКА. 2026–2027 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 10 КЛАСС

ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Максимальный балл за работу – 50 баллов.

Задание № 1.

Камень

Камень бросили с некоторой высоты над горизонтальной поверхностью земли. Через время t_1 его скорость была направлена горизонтально и равнялась $v_1 = 10$ м/с, а через время $t_2 = 2$ с (с момента бросания) его скорость оказалась равной начальной скорости v_0. При падении на землю скорость камня оказалась равной $v_3 = 30$ м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха и считая ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2, ответьте на следующие вопросы.

Вопрос 1. Найдите время t_1. Дайте ответ в секундах с округлением до десятых долей. **(1 балл)**

Вопрос 2. Найдите начальную скорость v_0. Дайте ответ в м/с с округлением до целого числа. **(2 балла)**

Вопрос 3. Найдите время t_3 всего полёта камня до падения на землю. Дайте ответ в секундах с округлением до десятых долей. **(3 балла)**

Вопрос 4. С какой высоты h был брошен камень? Дайте ответ в метрах с округлением до целого числа. **(3 балла)**

Вопрос 5. Чему равен модуль вектора перемещения камня S за время его полёта? Дайте ответ в метрах с округлением до целого числа. **(2 балла)**

Критерии оценивания: точное совпадение с ответом.

Максимальный балл за задание – 11 баллов.

Матрица параметров к вариантам задания 1.

№ варианта	v_1, м/с	t_2, с	v_3, м/с
1	10	2,0	30
2	15	4,0	30
3	12	3,6	30
4	8	2,2	30
5	6	2,8	30

Решение:

Движение по параболе симметрично относительно вертикальной линии, проходящей через верхнюю точку траектории. Поэтому время поднятия камня до верхней точки траектории и время его опускания до симметричной точки одинаковы. Таким образом:

$$t_1 = {}^{t_2}/_{2} = 1{,}0 \text{ с}.$$

Горизонтальная составляющая скорости сохраняется в течение всего полёта и равна v_1. Вертикальная составляющая скорости камня за время t_1 уменьшается от значения v_{0y} до 0:

$$v_{0y} = gt_1 = g\frac{t_2}{2}.$$

Тогда начальная скорость может быть вычислена как:

$$v_0 = \sqrt{v_1^2 + \left(g\frac{t_2}{2}\right)^2} \approx 14\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Вычислим модуль проекции конечной скорости на вертикальную ось:

$$v_{3y} = \sqrt{v_3^2 - v_1^2}.$$

Тогда время движения от верхней точки траектории до поверхности земли может быть рассчитано как:

$$\tau = \frac{\sqrt{v_3^2 - v_1^2}}{g}.$$

Тогда полное время полёта составит:

$$t_3 = t_1 + \tau = \frac{t_2}{2} + \frac{\sqrt{v_3^2 - v_1^2}}{g} \approx 3{,}8 \text{ с}.$$

Запишем формулу связи начальной проекции скорости, конечной проекции скорости и разницы высот (или закон сохранения энергии):

$$2gh = v_{3y}^2 - v_{0y}^2 = v_3^2 - v_0^2.$$

Тогда, подставляя предыдущие расчёты для высоты h, получаем:

$$h = \frac{v_3^2 - v_1^2}{2g} - \frac{gt_2^2}{8} = 35 \text{ м}.$$

За время полёта камень пролетит по горизонтали:

$$l = v_1 t_3 = v_1\left(\frac{t_2}{2} + \frac{\sqrt{v_3^2 - v_1^2}}{g}\right).$$

Тогда модуль вектора полного перемещения можно рассчитать как:

$$S = \sqrt{l^2 + h^2} = \sqrt{v_1^2\left(\frac{t_2}{2} + \frac{\sqrt{v_3^2 - v_1^2}}{g}\right)^2 + \left(\frac{v_3^2 - v_1^2}{2g} - \frac{gt_2^2}{8}\right)^2} \approx 52 \text{ м}.$$

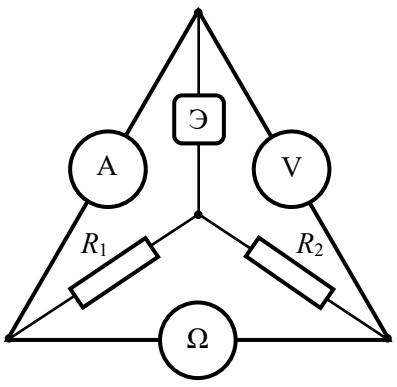
Матрица ответов к вариантам задания 1.

№ варианта	$\boldsymbol{t_1, c}$	$\boldsymbol{v_0}$, м/с	$\boldsymbol{t_3, c}$	$\boldsymbol{h}$, м	$\boldsymbol{s}$, м
1	1,0	14	3,8	35	52
2	2,0	25	4,6	14	70
3	1,8	22	4,5	22	59
4	1,1	14	4,0	36	48
5	1,4	15	4,3	33	42

Задание № 2.

Треугольник со звездой

Электрическая цепь, изображённая на рисунке, состоит из идеальных амперметра, вольтметра и омметра, резисторов с сопротивлениями $R_1 = 15$ Ом и $R_2 = 30$ Ом и нелинейного элемента Э. Идеальный омметр представляет собой идеальный источник постоянного напряжения с последовательно соединённым с ним идеальным амперметром. Показания омметра могут быть рассчитаны как отношение напряжения источника питания и силы тока, текущего через него. Вольт-амперная характеристика элемента Э описывается уравнением: $U_э = \alpha I_э^2$, где $I_э$ – сила тока через элемент, а $U_э$ – напряжение на нём; $\alpha = 3 \cdot 10^3$ Ом/А. Показания амперметра $I_A = 10$ мА.



Вопрос 1. Найдите показания U_V вольтметра. Ответ выразите в вольтах и округлите до десятых долей. **(3 балла)**

Вопрос 2. Найдите показания R_Ω омметра. Ответ выразите в омах и округлите до целого числа. **(3 балла)**

Вопрос 3. Какая тепловая мощность $P_э$ выделяется на нелинейном элементе? Ответ выразите в милливаттах и округлите до целого числа. **(3 балла)**

Критерии оценивания: точное совпадение с ответом.

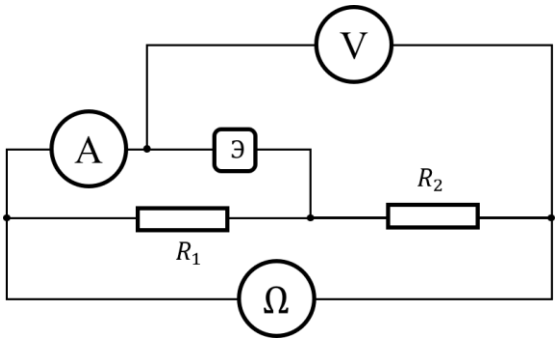
Максимальный балл за задание – 9 баллов.

Матрица параметров к вариантам задания 2.

№ варианта	$\boldsymbol{R_1}$, Ом	$\boldsymbol{R_2}$, Ом	$\boldsymbol{\alpha}$, $\mathbf{10^3}$ Ом/А	$\boldsymbol{I_A}$, мА
1	15	30	3	10
2	20	40	3	20
3	10	30	3	30
4	30	50	3	50
5	20	10	3	60

Решение:

Перерисуем схему для более простого её восприятия.



Видно, что амперметр измеряет ток, текущий через нелинейный элемент Э. Тогда через резистор R_1 течёт ток, равный:

$$I_1 = \frac{\alpha I_\text{A}^2}{R_1}.$$

Ток через резистор R_2 равен сумме токов, текущих через резистор R_1 и нелинейный элемент:

$$I_2 = I_1 + I_\text{A} = I_\text{A}\left(1 + \frac{\alpha I_\text{A}}{R_1}\right).$$

Вольтметр при этом измеряет сумму напряжений, падающих на резисторе R_2 и нелинейном элементе:

$$U_V = \alpha I_\text{A}^2 + I_2 R_2 = I_A R_2 + \alpha I_A^2\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 1{,}2 \text{ В}.$$

Показания омметра можно рассчитать как отношение напряжения на его контактах и тока, текущего через него:

$$R_\Omega = \frac{U_V}{I_2} = \frac{R_2 + \alpha I_A\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}{1 + \frac{\alpha I_A}{R_1}} = R_2 + \frac{\alpha I_A}{1 + \frac{\alpha I_A}{R_1}} = R_1 + R_2 - \frac{R_1^2}{R_1 + \alpha I_A} = 40\ \text{Ом}.$$

Мощность, выделяемую на нелинейном элементе, можно рассчитать на основе закона Джоуля − Ленца:

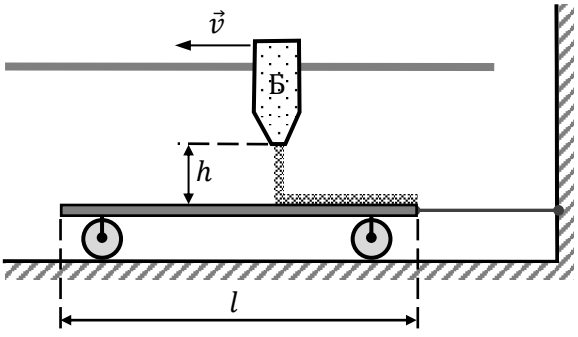
$$P = U_э I_э = \alpha I_A^3 = 3\ \text{мВт}.$$

Матрица ответов к вариантам задания 2.

№ варианта	$\boldsymbol{U_V}$, В	$\boldsymbol{R_\Omega}$, Ом	$\boldsymbol{P_э}$, мВт
1	1,2	40	3
2	4,4	55	24
3	11,7	39	81
4	22,5	75	375
5	16,8	28	648

Задание № 3.

Тележка с песком



Пустую тележку массой $m = 0{,}5$ т и длиной $l = 6$ м, находящуюся на горизонтальных рельсах, загружают песком, высыпающимся из бункера Б с постоянным массовым расходом μ. Бункер перемещается над тележкой в горизонтальном направлении с постоянной скоростью $v = 23$ см/с, его горловина находится на высоте $h = 20$ см над поверхностью тележки (см. рис.). По окончании процесса погрузки масса песка на тележке оказывается равной массе тележки m, при этом песок равномерно заполняет всю длину тележки. В течение всей погрузки тележка удерживается в покое горизонтальной нерастяжимой лёгкой верёвкой, один конец которой привязан к тележке, а другой – к стене. Скоростью песчинок относительно бункера в момент покидания бункера можно пренебречь. Попав на тележку, песок относительно неё тут же перестаёт двигаться. Трением качения колёс о рельсы, а также трением в осях колёс можно пренебречь. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10\ \text{м/с}^2$.

Вопрос 1. За какой промежуток времени t происходит загрузка песка на тележку? Ответ выразите в секундах с округлением до целого числа. **(1 балл)**

Вопрос 2. С каким массовым расходом μ песок высыпается из бункера? Ответ выразите в кг/с с округлением до целого числа. **(1 балл)**

Вопрос 3. Чему равна сила натяжения F верёвки, удерживающей тележку, во время погрузки? Ответ выразите в ньютонах с округлением до десятых долей. **(2 балла)**

Вопрос 4. Какая тепловая мощность q выделяется на тележке с песком во время погрузки? Ответ выразите в ваттах с округлением до десятых долей. Высотой насыпанного на тележку слоя песка можно пренебречь. **(3 балла)**

Вопрос 5. Определите мгновенную скорость v_c центра масс тележки с погруженным на неё песком в момент, когда бункер находится над серединой тележки. Ответ выразите в см/с с округлением до сотых долей. Считайте, что центр масс пустой тележки равноудалён от её концов. При расчётах помните, что масса тележки с песком при погрузке постоянно изменяется. **(5 баллов)**

Критерии оценивания: точное совпадение с ответом.

Максимальный балл за задание – 12 баллов.

Матрица параметров к вариантам задания 3.

№ варианта	$\boldsymbol{h}$, см	$\boldsymbol{v}$, см/с
1	20	23
2	19	29
3	18	26
4	17	31
5	16	32

Решение:

Определим время погрузки как отношение длины тележки к скорости движения бункера:

$$t = \frac{l}{v} \approx 26 \text{ с}.$$

Рассчитаем массовый расход песка как отношение массы высыпавшегося песка к времени высыпания:

$$\mu = \frac{m}{t} = \frac{mv}{l} \approx 19 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Для определения величины силы натяжения воспользуемся законом изменения импульса. За каждый промежуток времени dt импульс силы трения песка

о тележку останавливает массу песка μdt:

$$F_{\text{тр}} dt = \mu dt v.$$

Тогда сила трения, действующая на песок, может быть рассчитана как:

$$F_{\text{тр}} = \mu v.$$

Такая же по модулю сила трения действует на тележку со стороны песка. Так как тележка находится в покое, то сила натяжения уравновешивает силу трения:

$$F = F_{\text{тр}} = \mu v \approx 4{,}4 \text{ Н}.$$

Такой же результат можно получить, написав закон изменения импульса для системы тел «тележка + песок».

Перед падением песок имеет две составляющие скорости. Горизонтальная составляющая равна скорости бункера, вертикальная составляющая может быть найдена на основе закона сохранения энергии. Тогда за время dt на тележку упадёт масса песка, равная μdt. Вся кинетическая энергия этого песка перейдёт в тепловую энергию:

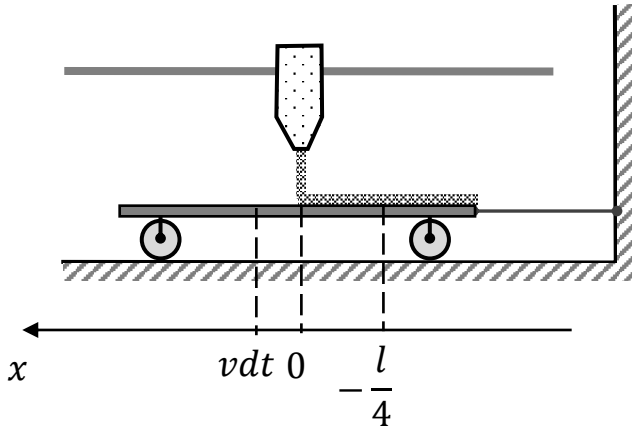
$$q dt = \mu dt \left(gh + \frac{v^2}{2} \right).$$

Отсюда тепловая мощность:

$$q = \mu \left(gh + \frac{v^2}{2} \right) \approx 38{,}8 \text{ Вт}.$$

Найдём положение центра масс тележки в момент времени, когда бункер находится над серединой тележки. Для этого введём горизонтальную ось с центром в середине тележки:

$$x(t) = \frac{m \cdot 0 - \frac{m}{2}\frac{l}{4}}{m + \frac{m}{2}} = \frac{-\frac{m}{2}\frac{l}{4}}{m + \frac{m}{2}}.$$



Пусть прошло небольшое время dt, и бункер сдвинулся на расстояние vdt.

Тогда новое положение центра масс можно найти как:

$$x(t+dt) = \frac{-\frac{m}{2}\frac{l}{4} + \frac{v\mu dt^2}{2}}{m + \frac{m}{2} + \mu dt}.$$

Вычтем полученные координаты, чтобы найти смещение положения центра масс системы за время dt.

$$dx = -\frac{m}{2}\frac{l}{4}\left(\frac{1}{\frac{3m}{2} + \mu dt} - \frac{1}{\frac{3m}{2}}\right) + \frac{\frac{v\mu dt^2}{2}}{\frac{3m}{2} + \mu dt}.$$

Видно, что представленное выражение можно разбить на два слагаемых:

$$\begin{cases} dx_1 = -\frac{l}{12}\left(\frac{1}{1 + \frac{2\mu dt}{3m}} - 1\right) \\ dx_2 = \frac{v\mu dt^2}{3m}\frac{1}{1 + \frac{2\mu dt}{3m}} \end{cases}.$$

Воспользуемся формулой приближённого исчисления:

$$(1+x)^\alpha \approx 1 + \alpha x \text{ (при } x \ll 1).$$

В данном случае $x = \frac{2\mu dt}{3m}, \alpha = -1$.

$$\begin{cases} dx_1 \approx \frac{l\mu dt}{18m} \\ dx_2 \approx \frac{v\mu dt^2}{3m}\left(1 - \frac{2\mu dt}{3m}\right) \end{cases}.$$

Видно, что во втором слагаемом присутствуют величины второго и третьего порядка малости. Ими можно пренебречь по сравнению с первым слагаемым. Таким образом, скорость перемещения центра масс может быть вычислена как:

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{dx_1}{dt} \approx \frac{v}{18} = 1{,}28 \text{ см/с}.$$

Альтернативным способом поиска скорости центра масс является взятие производной от функции зависимости координаты центра масс системы от времени.

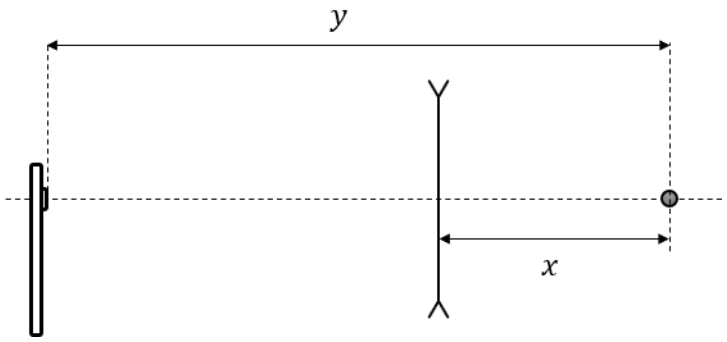
Матрица ответов к вариантам задания 3.

№ варианта	t, с	μ, кг/с	F, Н	q, Вт	v_c, см/с
1	26	19	4,4	38,8	1,28
2	21	24	7,0	46,9	1,61
3	23	22	5,6	39,7	1,44
4	19	26	8,0	45,2	1,72
5	19	27	8,5	44,0	1,78

Задание № 4.

Размер шарика

Шарик диаметром $d = 3$ мм фотографируют на смартфон с расстояния $y = 15$ см (см. рис.). Прямая, проходящая через центры шарика и камеры смартфона, перпендикулярна смартфону. Изображение шарика на экране смартфона имеет диаметр $D = 12$ мм. Между смартфоном и шариком на расстоянии $x = 9$ см от шарика располагают тонкую рассеивающую линзу с модулем фокусного расстояния $F = 18$ см. Центры шарика и камеры смартфона попадают на главную оптическую ось линзы.



Вопрос 1. На каком расстоянии b от смартфона будет находиться изображение шарика в рассеивающей линзе? Дайте ответ в сантиметрах с округлением до десятых долей. **(2 балла)**

Вопрос 2. Каким будет вертикальный размер изображения шарика d' в рассеивающей линзе? Дайте ответ в миллиметрах с округлением до десятых долей. **(2 балла)**

Вопрос 3. Каким будет диаметр изображения шарика D' на экране смартфона в этом случае? Дайте ответ в миллиметрах с округлением до десятых долей. Считайте, что настройки камеры до и после установки линзы одинаковые, а изображения в обоих случаях достаточно хорошо сфокусированы. **(3 балла)**

Вопрос 4. Каким будет диаметр изображения шарика D'' на экране смартфона, если линзу придвинуть вплотную к шарику, при этом не меняя положения шарика и смартфона? Дайте ответ в миллиметрах с округлением до десятых долей. **(2 балла)**

Критерии оценивания: точное совпадение с ответом.

Максимальный балл за задание – 9 баллов.

Матрица параметров к вариантам задания 4.

№ варианта	$\boldsymbol{d}$, мм	$\boldsymbol{D}$, мм	$\boldsymbol{y}$, см	$\boldsymbol{x}$, см	$\boldsymbol{F}$, см
1	3	12	15	9	18
2	6	24	10	6	12
3	5	25	6	5	20
4	6	9	14	12	6
5	6	36	7	6	30

Решение:
Обозначим расстояние между изображением и линзой за a. Запишем формулу тонкой линзы, принимая во внимание, что линза рассеивающая, а изображение мнимое:

$$-\frac{1}{F}=\frac{1}{x}-\frac{1}{a}.$$

Преобразуя выражение, получим для величины a:

$$a=\frac{Fx}{F+x}.$$

Тогда расстояние между изображением и смартфоном можно рассчитать как:

$$b=y-x+a=y-x+\frac{Fx}{F+x}=12\text{ см}.$$

Линейный размер изображения можно рассчитать через увеличение линзы:

$$d'=\Gamma d=\frac{a}{x}d=\frac{Fd}{F+x}=2{,}0\text{ мм}.$$

Размер объектов на экране смартфона пропорционален их видимому из объектива камеры угловому размеру, значит, диаметр изображения шарика на экране смартфона составит:

$$D'=D\frac{\frac{d'}{b}}{\frac{d}{y}}=D\frac{d'y}{bd}=\frac{DFy}{y(x+F)-x^2}=10{,}0\text{ мм}.$$

Если вести наблюдения через тонкую линзу, установленную вплотную к объекту, то изображение объекта будет совпадать с ним по размеру и находиться в том же месте, что и объект, поэтому диаметр изображения шара на экране смартфона в этом случае будет совпадать с исходным диаметром шара на экране.

Матрица ответов к вариантам задания 4.

№ варианта	$\boldsymbol{b}$, см	$\boldsymbol{d'}$, мм	$\boldsymbol{D'}$, мм	$\boldsymbol{D''}$, мм*
1	12,0	2,0	10,0	12,0; 11,9
2	8,0	4,0	20,0	24,0; 23,4
3	5,0	4,0	24,0	25,0; 24,7
4	6,0	2,0	7,0	9,0; 8,6
5	6,0	5,0	35,0	36,0; 35,7

*Если учитывать толщину шара, то в формулу для расчета размера шара на экране вместо y следует подставлять радиус шара.

Задание № 5.

3D-печать

3D-принтер печатает деталь пластиковым прутком диаметром $d = 2{,}0$ мм. Пруток поступает в печатающую головку при температуре $T_0 = 20$ °C со скоростью

$v = 6$ мм/с. В головке пластик нагревается до температуры плавления

$T_{\text{пл}} = 220$ °C и полностью плавится. Плотность пластика равна $\rho = 1200$ кг/м^3, его удельная теплоёмкость одинакова в твёрдом и жидком состояниях и равна

$c = 1800$ Дж/(кг · °C), а удельная теплота плавления равна $\lambda = 80$ кДж/кг. Независимо от скорости подачи пластика печатающая головка теряет в окружающую среду $N = 10$ Вт тепловой мощности.

Вопрос 1. Какова электрическая мощность нагревателя печатающей головки $P_{\text{г}}$ при указанной скорости подачи пластика? Ответ выразите в ваттах и округлите до десятых долей. **(2 балла)**

Стол принтера, на которую печатающая головка наносит расплавленный пластик слой за слоем, поддерживается при постоянной температуре $T_{\text{ст}} = 60$ °C. В отсутствие пластика на столе для поддержания этой температуры нагреватель стола потребляет электрическую мощность $P_{\text{с0}} = 25$ Вт. Считайте, что весь поступивший на стол пластик полностью затвердевает, охлаждается до температуры стола и передаёт всю выделившуюся теплоту столу. Система управления может уменьшать мощность нагревателя стола вплоть до нуля.

Вопрос 2. Какую электрическую мощность $P_{\text{с}}$ должен потреблять нагреватель стола во время печати при указанной скорости подачи? Ответ выразите в ваттах и округлите до десятых долей. **(2 балла)**

Объём готовой детали составил $V = 90$ см^3.

Вопрос 3. Какую суммарную электрическую энергию W израсходовали нагреватели головки и стола за время печати детали при указанной скорости подачи v? Ответ выразите в килоджоулях и округлите до целого числа. **(2 балла)**

Максимальная электрическая мощность нагревателя головки равна $P_{\text{г макс}} = 35$ Вт.

Вопрос 4. Какова наибольшая допустимая скорость $v_{\max}$ подачи прутка, при которой и головка, и стол могут сохранять заданные температуры? Ответ выразите в миллиметрах в секунду и округлите до целого числа. **(3 балла)**

Критерии оценивания: точное совпадение с ответом.

Максимальный балл за задание – 9 баллов.

Матрица параметров к вариантам задания 5.

№ варианта	$\boldsymbol{d}$, мм	$\boldsymbol{v}$, мм/с	$\boldsymbol{N}$, Вт	$\boldsymbol{P_{с0}}$, Вт	$\boldsymbol{P_{г\,макс}}$, Вт
1	2,0	6	10	25	35
2	0,4	40	15	10	20
3	0,4	30	18	12	24
4	1,2	12	10	30	40
5	0,8	20	12	28	30

Решение:

За небольшое время dt через печатающую головку проходит длина прутка vdt. Масса этой части прутка может быть вычислена как:

$$dm = \rho v dt \frac{\pi d^2}{4}.$$

Эта часть прутка должна при этом нагреться до температуры плавления, а после расплавиться. При этом часть мощности печатающей головки уйдёт в окружающую среду. Запишем равенство выделяемой головкой теплоты и суммы потребления энергии, идущей на разогрев и плавление пластика, и тепловых потерь за время dt:

$$P_г dt = dm(c(T_{пл} - T_0) + \lambda) + N dt.$$

Отсюда мощность печатающей головки:

$$P_г = \rho v \frac{\pi d^2}{4}(c(T_{пл} - T_0) + \lambda) + N \approx 20{,}0 \text{ Вт}.$$

Пластик, попавший на стол за время dt, остывает, передавая столу количество теплоты:

$$\delta Q = dm\big(\lambda + c(T_{пл} - T_{ст})\big).$$

Количество теплоты, требуемое для поддержания температуры стола при заданной температуре, равно $P_{с0}dt$. Таким образом, нагревателю достаточно сообщать столу лишь разницу в количестве теплоты, требуемой для поддержания температуры и поступающей от разогретого пластика:

$$P_с dt = P_{с0} dt - dm\big(\lambda + c(T_{пл} - T_{ст})\big).$$

В итоге мощность нагревателя стола может быть рассчитана как:

$$P_{\text{с}} = P_{\text{с0}} - \rho v \frac{\pi d^2}{4}\left(\lambda + c(T_{\text{пл}} - T_{\text{ст}})\right) \approx 16{,}7 \text{ Вт}.$$

Время на изготовление модели можно рассчитать, приравняв объём модели и объём пластика, прошедшего через печатающую головку:

$$V = vt\frac{\pi d^2}{4},$$

$$t = \frac{4V}{v\pi d^2}.$$

Тогда полные затраты электроэнергии составят:

$$W = (P_{\text{г}} + P_{\text{с}})t = \left(N + P_{\text{с0}} + \rho v \frac{\pi d^2}{4} c(T_{\text{ст}} - T_0)\right)\frac{4V}{v\pi d^2},$$

$$W = \frac{4(N + P_{\text{с0}})V}{v\pi d^2} + \rho V c(T_{\text{ст}} - T_0) \approx 175 \text{ кДж}.$$

Введём понятия мощности нагрева прутка и мощности его остывания:

$$\begin{cases} P_{\text{нагрева}} = \rho v \dfrac{\pi d^2}{4}(c(T_{\text{пл}} - T_0) + \lambda) \\ P_{\text{остыв}} = \rho v \dfrac{\pi d^2}{4}(c(T_{\text{пл}} - T_{\text{ст}}) + \lambda) \end{cases}.$$

Мощность нагрева прутка ограничена разностью максимальной мощности печатающей головки и тепловых потерь. А мощность остывания ограничена величиной $P_{\text{с0}}$, так как при превышении этой мощности стол будет иметь температуру, бóльшую заданной. То есть скорость подачи ограничена двумя значениями.

$$\begin{cases} v \le \dfrac{P_{\text{г макс}} - N}{\rho \dfrac{\pi d^2}{4}(c(T_{\text{пл}} - T_0) + \lambda)} \\ v \le \dfrac{P_{\text{с0}}}{\rho \dfrac{\pi d^2}{4}\left(\lambda + c(T_{\text{пл}} - T_{\text{ст}})\right)} \end{cases}.$$

Для ответа на вопрос необходимо выбрать более жёсткое ограничение:

$$\begin{cases} v \le 15 \text{ мм/с} \\ v \le 18 \text{ мм/с} \end{cases}.$$

В данном случае первое ограничение оказывается более жёстким, поэтому

максимальная скорость подачи прутка может быть рассчитана как:

$$v_{\max} = \frac{P_{\text{г макс}} - N}{\rho \frac{\pi d^2}{4} (c(T_{\text{пл}} - T_0) + \lambda)} = 15 \frac{\text{мм}}{\text{с}}.$$

Ограничение определяется системой неравенств:

$$\begin{cases} v \le \dfrac{P_{\text{г макс}} - N}{\rho \frac{\pi d^2}{4} (c(T_{\text{пл}} - T_0) + \lambda)} \\ v \le \dfrac{P_{\text{с0}}}{\rho \frac{\pi d^2}{4} \left(\lambda + c(T_{\text{пл}} - T_{\text{ст}})\right)} \end{cases}.$$

Матрица ответов к вариантам задания 5.

№ варианта	$\boldsymbol{P_{\text{г}}}$, Вт	$\boldsymbol{P_{\text{с}}}$, Вт	$\boldsymbol{W}$, кДж	$\boldsymbol{v_{\max}}$, мм/с
1	19,9; 20,0	16,7	175	15
2	17,7	7,8	456; 455	75
3	20,0	10,3	724	90
4	17,2	24,0	273	50
5	17,3	23,6	366	68; 67