



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

**ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН
для учащихся инженерных классов (11 класс) города Москвы**

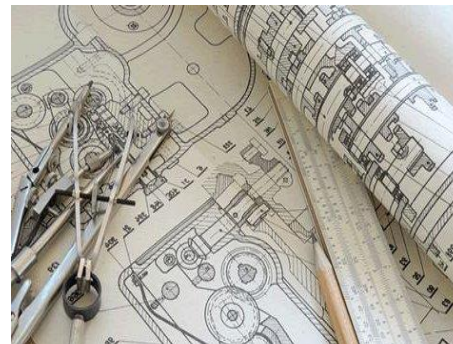
***Семинар «Решение ситуационных задач практической части
предпрофессионального экзамена
(Исследовательское направление)»***

Авторы: *Буркова Е.Г., старший преподаватель физики кафедры «Основы физики» СУНЦ МГТУ им. Н.Э. Баумана;*
Козичев В.В., инженер НИИ «Энергомашиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана
Леонов В.В., к.т.н., доцент кафедры «Космические аппараты и ракеты-носители» МГТУ им. Н.Э. Баумана

Москва – 2018

Все ситуационные практические задачи делятся на четыре группы в соответствии с направлениями подготовки инженеров в техническом вузе:

- Технологическое (инженер-технолог);
- Исследовательское (инженер-исследователь);
- Конструкторское (инженер-конструктор);
- Программирование (инженер-программист).





Включает задачи, в которых требуется получение аналитической зависимости одних величин от других, характеризующей рассматриваемую конструкцию, с учетом действующих условий, Например, задачи оптимизации.



- 1. Выделение основных физических процессов, их последовательности и причинно-следственных связей.** Данный пункт подразумевает оценку текстового и графического описания физических процессов.
- 2. Правильная формализация физических процессов, запись основных зависимостей (формул), описывающих физические процессы или состояния элементов системы.** В качестве исходных формул необходимо использовать законы и определения физических величин, общие известные уравнения процессов и состояний.
- 3. Составление системы уравнений, алгоритма расчета, математической модели.** Здесь корректная запись системы является приоритетной относительно упрощения и приведения к удобному виду. Оценивается умение комбинировать и преобразовывать выражения, с целью получения нужных данных.
- 4. Проведение расчетов, получение и представление результата.** Оценивание каждого вопроса задачи производится отдельно с весовым коэффициентом, равным $(1/[\text{количество вопросов}])$, а также добавляется бонусный балл за качество оформления или представления ответа.

Дополнительные критерии оценивания решения задач по направлениям



Исследовательские задачи:

- до 3 дополнительных баллов за корректный подход к анализу влияющих факторов (учет факторов, не отраженных в явном виде в условии, оценка значимости факторов, устранение малозначимых факторов);
- до 3 дополнительных баллов за анализ результатов решения (качественная и количественная интерпретация результатов, оценка области применения, общие выводы из частного решения).

Дополнительные критерии оценивания решения задач



1. Если решение задачи содержит разрозненные записи, выделены правильно некоторые физические процессы, присутствует одна-две правильные формулы, но решение, как таковое отсутствует или абсолютно неверное, то ставится 1-2 балла
2. Верные решения задач могут отличаться от авторских. Допустим учет дополнительных параметров, не предусмотренных авторами в случае, если не нарушаются физические законы и технические закономерности функционирования системы.
3. За отсутствие пояснений, ошибки в численных расчетах при верном пути решения задачи снимается 1-2 балла.
4. В случае если задача содержит правильный путь решения, но не доведена до ответа или получен неправильный ответ, при этом присутствуют отдельные правильные элементы решения, то оценивание проводится по критериям, приведенным для каждой задачи.

Критерии оценивания решения задач



Подпункт	Конструкторская	Технологическая	Исследовательская	Программирование
1. Выделение физических процессов, последовательности и причинно-следственных связей				
Основные баллы	9	8	10	6
Графическое описание	+3	+3	+2	+2
Структурирование	+2	+2	+2	+4
Максимальное число баллов за этап	14	13	14	12
2. Формализация физических процессов				
Основные баллы	8	9	10	10
Максимальное число баллов за этап	8	9	10	10
3. Подготовка системы уравнений, алгоритма, математической модели				
Основные баллы	8	8	10	10
Преобразование системы уравнений	+2	+2	+3	+3
Максимальное число баллов за этап	10	10	13	13
4. Проведение расчетов, получение и представление результата				
Расчеты и результат	9	8	5	6
Представление результата	+3	+4	+2	+3
Максимальное число баллов за этап	12	12	7	9
5. Дополнительные баллы в соответствии со спецификой задачи				
Максимальное число баллов за этап	6	6	6	6
Общее количество баллов				
Максимальная сумма баллов за задачу	50	50	50	50

Общий алгоритм решения задач



1. Выделить физические процессы и явления, которые лежат в основе описываемых конструкций или процессов, назвать их. При необходимости привести их схематическое или графическое описание.
2. В соответствии с пунктом первым записать необходимые базовые формулы.
3. Построить математическую модель процессов, описываемых в условии, для этого использовать конкретные параметры задачи, базовые формулы физики и получить соответствующие аналитические выражения.
4. Обратит внимание на необходимость дополнительных справочных данных.
5. Составить систему уравнений, проанализировать ее с точки зрения возможных упрощений, рациональных методов решения.
6. Решить полученную систему, произвести числовые расчеты, обратив внимание на правильное использование единиц физических величин.
7. Представить полученные результаты в соответствии с вопросами задачи.



**ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
НАПРАВЛЕНИЯ**

Задача 1. Условие



В недрах Сколково разработан инновационный самолет – летающее крыло (самолет без фюзеляжа и оперения, состоящий из крыла и размещенных в нем двигателей и прочих агрегатов). Прототип изготовлен из пенопласта, имеет размах крыльев 3 м, площадь крыла $0,9 \text{ м}^2$ и взлетную массу 2 кг.

В рамках развития проекта разработчик принял решение масштабировать прототип в сторону увеличения без изменения технологии изготовления. Затраты на изготовление самолета в первом приближении складываются из стоимости материалов, стоимости изготовления и стоимости разработки. Стоимость материала составляет 100 руб/кг. Стоимость изготовления пропорциональна площади крыла и составляет 10000 руб/м². Стоимость разработки пропорциональна массе самолета и составляет 5000 руб/кг.

Задача 1. Условие (продолжение)



Вопросы:

- 1) Определите взлетную скорость прототипа и необходимую тягу двигателя.
- 2) Постройте зависимость размаха крыла, взлетной скорости и тяги двигателей от взлетной массы самолета, в диапазоне последней от 2 кг до 200 т.
- 3) Каковы максимальные размеры и масса самолета, если взлетная скорость ограничена величиной 100 км/час.
- 4) Постройте зависимость себестоимости создания самолета от его взлетной массы. Определите массу самолета, который необходимо создать для освоения бюджетных средств в объеме 200 млн. руб.

Задача 1. Дополнительная информация



Подъемная сила крыла и сила аэродинамического сопротивления определяются соответственно с помощью следующих уравнений:

$$F_Y = C_Y S \frac{\rho v^2}{2},$$
$$F_X = C_X S \frac{\rho v^2}{2}.$$

где C_y – коэффициент подъемной силы, C_x – коэффициент аэродинамического сопротивления, S – площадь крыла, ρ – плотность воздуха, v – скорость полета.

Значения аэродинамических коэффициентов зависят от многих величин и параметров. В рамках задачи они постоянны и равны $C_y = 1,2$ и $C_x = 0,1$. Для горизонтального полета подъемная сила должна компенсировать силу тяжести самолета, а сила тяги двигателей должна компенсировать силу аэродинамического сопротивления.

Задача 1. Решение



Очевидно, масса самолета пропорциональна его объему, который, в свою очередь, пропорционален размеру в кубе. Площадь крыла пропорциональна его размеру в квадрате.

1) Прямая задача определения параметров прототипа.

Взлетной называется скорость, при которой подъемная сила крыла достигает силы тяжести самолета:

$$C_Y S \frac{\rho v^2}{2} = Mg.$$

Выразим скорость:

$$v = \sqrt{\frac{2Mg}{C_Y S \rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2}{1,2 \cdot 0,9 \text{ м}^2 \cdot 1,2 \text{ кг/м}^3}} = 5,5 \text{ м/с (или 19,8 км/ч)}.$$

Необходимая тяга двигателя равняется силе сопротивления, рассчитываемой при известной скорости полета:

$$F_x = C_x S \frac{\rho v^2}{2} = 0,1 \cdot 0,9 \text{ м}^2 \cdot \frac{1,2 \text{ кг/м}^3 \cdot \left(5,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{2} = 1,634 \text{ Н}.$$

Задача 1. Решение (продолжение)



2) Для построения зависимостей параметров самолета от его массы запишем несколько уравнений.

Масса самолета пропорциональна его объему (или кубу размера):

$$M = KH^3$$

где K – коэффициент пропорциональности, H – линейный размер самолета (например, размах крыла).

Определим значение коэффициента исходя из характеристик прототипа:

$$K = \frac{M_{\text{прот}}}{H_{\text{прот}}^3} = \frac{2 \text{ кг}}{27 \text{ м}^3} \approx 0,074 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Таким образом, размах крыла зависит от массы как:

$$H = \sqrt[3]{\frac{M}{K}}.$$

Площадь крыла пропорциональна квадрату линейного размера:

$$S = JH^2.$$

Определим значение коэффициента пропорциональности:

$$J = \frac{S_{\text{прот}}}{H_{\text{прот}}^2} = 0,1.$$

Таким образом, площадь крыла зависит от массы как:

$$S = JH^2 = J \left(\frac{M}{K} \right)^{2/3}.$$

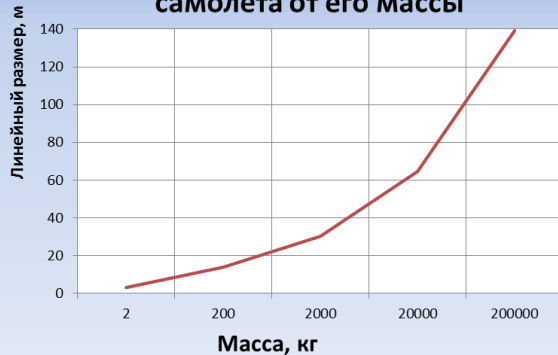
Задача 1. Решение (продолжение)



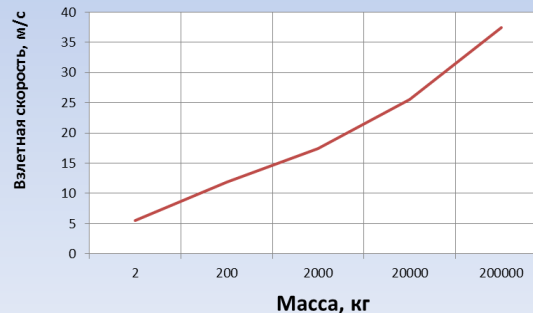
Составим таблицу расчетных значений требуемых параметров:

M , кг	H , м	S , м ²	$V_{\text{мин}}$, м/с	P , Н
2	3,001001	0,900601	5,50069	1,635
200	13,92941	19,40285	11,85088	163,5
2000	30,01001	90,06005	17,39471	1635
20000	64,6546	418,0217	25,53194	16350
200000	139,2941	1940,285	37,47576	163500

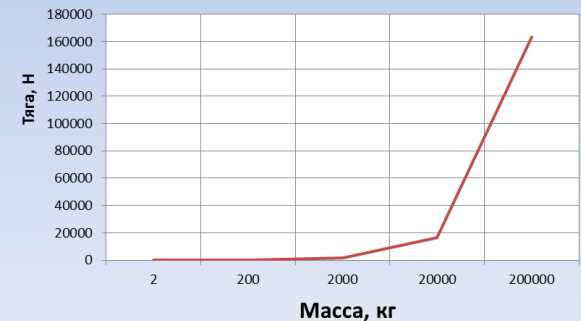
Зависимость линейных размеров самолета от его массы



Зависимость минимальной взлетной скорости самолета от его массы



Зависимость тяги самолета от его массы



Задача 1. Решение (продолжение)



3) 100 км/ч – это $100/3,6 = 27,8$ м/с.

Далее, используя результаты пп. 1) и 2), имеем:

$$v^2 = \frac{2Mg}{C_Y S \rho} = \frac{2g \sqrt[3]{MK^2}}{C_Y J \rho}.$$

Отсюда

$$M = \left(\frac{C_Y J \rho v^2}{2g} \right)^3 / K^2 = 33000 \text{ кг.}$$

4) Дополним таблицу п.2 данными о стоимости, рассчитанными на основе имеющейся информации.

Масса самолета составляет 38000 кг.

М, кг	$C_{\text{мат}}$, руб	$C_{\text{изг}}$, руб	$C_{\text{разр}}$, руб	$C_{\text{полн}}$, руб
2	200	9006,005	10000	19206,01
200	20000	194028,5	1000000	1214028
2000	200000	900600,5	10000000	11100601
20000	2000000	4180.217	1E+08	1,06E+08
200000	20000000	19402850	1E+09	1,04E+09

Задача 1. Решение (продолжение)



Данная задача является примером того, что значимым навыком может быть не только знание законов физики, но и умение понимать и гибко оперировать прикладными зависимостями, как выводимыми из физики, так и представленными из других источников, являющимися аппроксимацией эмпирических данных, либо просто данных свыше «потому что так».

При этом (как показывает пример со связью массы, объема и размера крыла) необходимо уметь находить и оперировать простейшими качественными зависимостями (величина A пропорциональна величине B), находить способы их количественной оценки.

Применение подобного подхода является скорее исключением, чем правилом, но необходимость его применения не может быть исключена.

Задача 2. Условие



Исследователь оказался на неизвестной планете с линейкой и 10-метровым шестом, оснащенным приспособлением, позволяющим установить его вертикально.

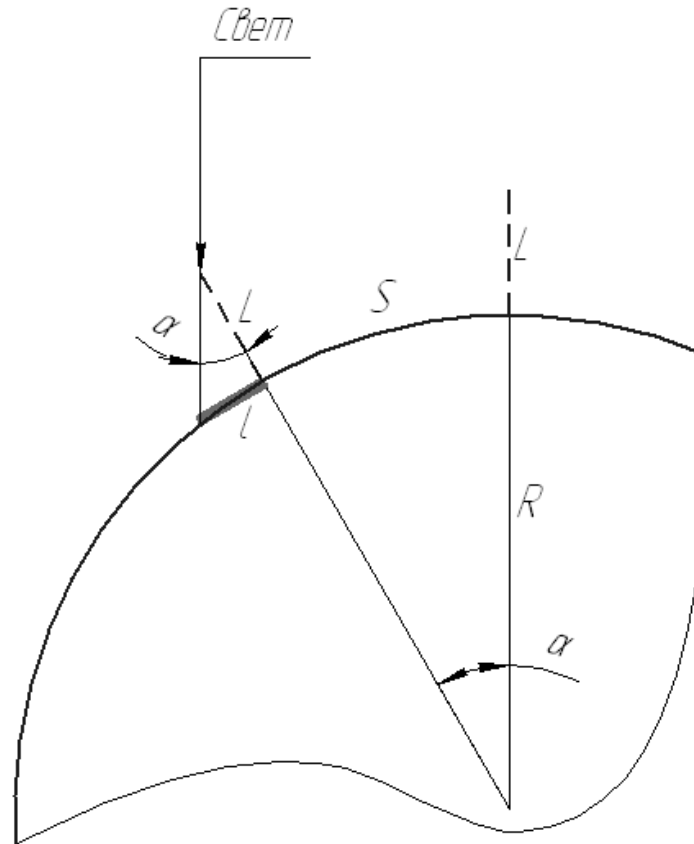
Исследователь нашел точку, в которой тень шеста отсутствует, а также определил направление движения местной звезды. Отойдя от базовой точки на 10, 20 и 50 км перпендикулярно направлению движения звезды по небу, он провел три измерения. Длина тени составила 41, 90 и 219 мм соответственно.

- 1) Определить диаметр планеты.
- 2) Оцените точность определения диаметра планеты в первом измерении, если точность определения дистанции составляет $\pm 5\%$, а точность измерения длины тени ± 2 мм.

Задача 2. Решение



1) Примем допущение о том, что звезда бесконечно далеко от планеты – тогда лучи света падают на планету с одной стороны параллельным пучком.



$$\alpha = \arctg(l / L),$$

где L – 10-метровый шест, l – длина тени от него.

Задача 2. Решение (продолжение)

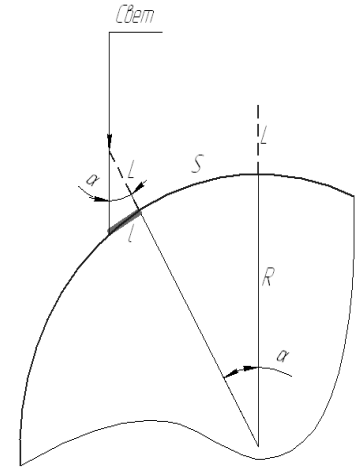


Длина пройденного по планете расстояния от экватора равна

$$S = \alpha R = \alpha D / 2$$

Отсюда

$$D = \frac{2S}{\text{arctg}(l / L)}$$



Получим значения диаметра 4878, 4445 и 4567 км соответственно. Средняя величина – 4630км.

Задача 2. Решение (продолжение)



2) Реальная дистанция составляет 9500-10500 м. Реальная длина тени 39-43 мм.

Для получения максимального значения диаметра подставим в уравнение максимальную дистанцию и минимальную длину тени. Для минимального значения диаметра – наоборот.

Таким образом, диаметр составляет от 4418-5384 км.

Погрешность определения диаметра в первом измерении составляет

$$E_{\min} = \frac{L_{\min} - L}{L} = -9,43\%$$

$$E_{\max} = \frac{L_{\max} - L}{L} = 10,37\%$$

Задача 3. Условие



Жидкий азот хранится в сосуде сферической формы с пенопластовой теплоизоляцией при температуре кипения -195°C (такая же температура внутренней поверхности теплоизоляции). Плотность азота составляет 808 кг/м^3 , а его удельная теплота испарения 199 кДж/кг . Теплопроводность пенопласта $0,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, температура окружающей среды (и внешней поверхности теплоизоляции) равна 20°C .

Для оценки плотности теплового потока через стенку (количеству энергии, проходящей через единицу площади поверхности стенки в единицу времени) используется следующая формула:

$$q = \lambda \frac{T_2 - T_1}{\delta},$$

где λ – теплопроводность материала стенки, T_1 и T_2 – соответственно, температура внутренней и наружной поверхности стенки, δ – толщина стенки. Тепловой поток направлен со стороны с большей температурой в сторону с меньшей температурой.

Задача 3. Условие (продолжение)



Найти зависимость времени полного испарения азота из емкости от диаметра емкости в диапазоне 0,2-1,0 м при условии, что толщина теплоизоляции составляет 0,01м.

Задача 3. Решение



Время испарения определяется поступающей в сосуд тепловой мощностью и теплотой испарения жидкого азота. Тепловая мощность равна произведению теплового потока на площадь поверхности сосуда:

$$N = qS$$

$$q = \lambda \frac{T_2 - T_1}{\delta},$$

$$S = \pi D^2$$

Затраты энергии на испарение азота

$$E = \frac{1}{6} \rho \pi D^3 r_{\text{исп}}$$

Произведение мощности на время равно затратам энергии:

$$N \cdot t = E$$

Задача 3. Решение (продолжение)



Решая полученную систему, находим

$$t = k \cdot D$$

где

$$k = \frac{\rho r_{\text{исп}} \delta}{6\lambda(T_2 - T_1)} = 2493 \text{ с/м}^3$$

Граничные значения времени составляют:

$$t(0, 2) = 498 \text{ с} \approx 8 \text{ мин}$$

$$t(1, 0) = 2493 \text{ с} \approx 41,6 \text{ мин}$$

Спасибо за внимание!