

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

ЦЕНТР ДОВУЗОВСКОЙ ПОДГОТОВКИ

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

Методические рекомендации
по решению задач практической части предпрофессионального экзамена

ПРАКТИЧЕСКИЕ СИТУАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ
(Конструкторское направление)

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

Москва 2019

Содержание

Введение	3
Общие критерии оценивания задач.....	3
Алгоритм решения задач.....	6
Примеры задач с решениями	7
Типичные ошибки.....	10
Заключение	12
Список литературы	13

Введение

В рамках проекта «Инженерный класс в московской школе» предполагается проведение предпрофессионального экзамена, результаты которого будут являться одной из оценок успешности реализации проекта в образовательном учреждении. Данные методические указания посвящены ситуационным задачам инженерного содержания, одной из форм реализации (моделей) второй (практико-ориентированной части) предпрофессионального экзамена.

Задания практической части направлены на умение применять теоретические знания в решении разноплановых ситуационных задач, использовать алгоритмы при решении задач, применять профильные знания в нестандартных ситуациях, проводить исследования, презентовать полученные результаты.

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

- 1) Технологическое (инженер-технолог);
- 2) Исследовательское (инженер-исследователь);
- 3) Конструирование (инженер-конструктор);
- 4) Программирование (инженер-программист).

Познакомимся подробнее с задачами **конструкторского направления**.

Конструкторское направление включает задачи, связанные с проведением технических расчетов, отвечающих условиям эксплуатации той или иной конструкции, определение параметров исследуемой системы или характеристик конструктивного решения. Например, определение запаса рабочего вещества на борту аппарата.

Задачи данного направления могут быть разделены на два основных вида (отличающихся только направлением решения):

- 1) определение характеристик технической системы по заданным параметрам,
- 2) определение некоторых параметров системы по заданным характеристикам.

Практические ситуационные задачи имеют повышенный или высокий уровень сложности.

Решение задач осуществляется на бумажном носителе и происходит в два этапа. За первый этап (письменное решение), который длится 80 минут, возможно получить максимально 50 баллов. Затем происходит защита решения, презентация (представление) полученных результатов. Второй этап длится 5 минут и за него возможно получить максимально 10 баллов.

Общие критерии оценивания задач

Критерии оценки качества решения задачи состоят из базового блока и дополнительных баллов. **Базовый блок** оценки имеет общую для всех типов задач структуру, но различается распределением баллов между отдельными критериями в зависимости от направления (категории) задачи. **Дополнительные баллы** имеют

одинаковое полное количество, но начисляются за особенности решения, характерные для каждого направления (категории) задачи.

При этом к каждой задаче существуют более подробные критерии оценивания с указанием конкретных элементов по баллам.

Основные критерии (Базовый блок)

- 1 Выделение основных физических процессов, их последовательности и причинно-следственных связей. Данный пункт подразумевает оценку текстового и графического описания физических процессов. При наличии в структуре физической картины задачи нескольких крупных этапов или обособленных элементов – каждый из них оценивается отдельно и общее число баллов делится поровну между данными элементами. Таким образом корректный анализ части физической картины позволяет получить некоторое количество баллов.
- 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. Структура формализации должна соответствовать структуре физической картины.
- 3 Составление системы уравнений, алгоритма расчета, математической модели. Здесь корректная запись системы является приоритетной относительно упрощения и приведения к удобному математическому виду. То есть правильная запись уравнений (не исходных уравнений физических законов, например, а уравнений, преобразованных для получения нужной информации) является важнее их преобразования и приведения к красивому виду.
- 4 Проведение расчетов, получение и представление результата. Основное внимание уделяется качеству полученных данных. Бонусные баллы могут быть начислены за предоставление результатов в строгом соответствии со структурой вопросов задачи.

Бонусные баллы для задач конструкторского направления

- до 5 бонусных баллов начисляется за учет дополнительных условий технической системы или процесса, не заложенных в стандартное решение и позволяющих получить более точный или корректный ответ;
- до 1 бонусного балла начисляется за дополнительный анализ полученного результата (определение условий применимости тех или иных конструкторских решений, конструкторские предложения, позволяющие улучшить параметры системы и т.п.).

Дополнительные критерии

- 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 учёт 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.

Сводная таблица распределения максимального количества баллов

1. Выделение физических процессов, последовательности и причинно-следственных связей	
Основные баллы	
Графическое описание	
Структурирование	
Максимальное число баллов за этап	
Формализация физических процессов	
Основные баллы	
Максимальное число баллов за этап	
3. Подготовка системы уравнений, алгоритма, математической модели	
Основные баллы	
Преобразование системы уравнений	
Максимальное число баллов за этап	
4. Проведение расчетов, получение и представление результата	
Расчеты и результат	
Представление результата	
Максимальное число баллов за этап	
5. Дополнительные баллы в соответствии со спецификой задачи	
Максимальное число баллов за этап	
Общее количество баллов	
Максимальная сумма баллов за задачу	

Защита подразумевает развернутое пояснение логики и хода решения задачи. Максимальная оценка составляет 10 баллов в зависимости от полноты и качества пояснений, а также ответов на вопросы комиссии.

Таким образом, максимальная сумма за комплекс «Решение + защита» составляет 60 баллов.

Алгоритм решения задач

В связи разделением задач на четыре группы можно вести речь о различных деталях алгоритмов решения, но при этом общая схема и подход к решению ситуационных практических задач остаются неизменными.

Важно увидеть в условии задачи физические процессы и явления, которые лежат в основе функционирования конструкции или в основе описываемых технологических процессов. Следующим важным шагом решения задачи является аналитическое описание «физической картины» задачи, т.е. отражение всех явлений и процессов с помощью формул. Здесь важно уметь использовать известные школьниками законы физики в несколько измененных, иногда непривычных, условиях. Важное значение имеет математическая подготовка обучающихся, ведь далее необходимо построить математическую модель, соответствующую конкретным условиям функционирования системы, получить систему уравнений, возможно, применить некоторые упрощения. На заключительном этапе проводятся математические преобразования, решение полученной системы, численные расчеты и оценка реальности полученного результата. Решение необходимо сопровождать пояснениями, описанием и обоснованием принятых допущений. В рассуждениях следует придерживаться логической последовательности.

Основываясь на вышесказанном, при решении практических ситуационных задач можно выделить следующие шаги:

- 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 соответствие 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 её с точки зрения возможных упрощений, рациональных методов решения.
- 6 Решить полученную систему, произвести числовые расчеты, обратив внимание на правильное использование единиц физических величин.
- 7 Проанализировать полученный ответ.

Примеры задач с решениями

Задача №1. Теплоизолирующий контейнер

Условие задачи:

Ёмкость кубической формы (сторона куба 4 метра) с пенопластовой теплоизоляцией полностью наполнена водяным льдом при температуре 0°C (такая же температура внутренней поверхности теплоизоляции). Плотность льда составляет 917 кг/м³, а его теплота плавления 330 кДж/кг. Теплопроводность пенопласта 0.4 Вт/(м·К), средняя температура окружающей среды (и внешней поверхности теплоизоляции) равна 15°C.

Вопросы:

Найти толщину теплоизоляции, обеспечивающей сохранение 30% льда в твердой форме в течение 90 суток.

Дополнительная информация:

Для оценки плотности теплового потока q [Вт/м²] через стенку (количества энергии, проходящей через единицу площади поверхности стенки в единицу времени) используется следующая формула:

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

где λ – теплопроводность материала стенки, Вт/(м·К);

T_1 и T_2 – температура внутренней и наружной поверхности стенки, К;

δ – толщина стенки, м.

Тепловой поток направлен со стороны с большей температурой в сторону с меньшей температурой.

Решение:

Время плавления льда определяется поступающей в контейнер тепловой мощностью и теплотой плавления льда.

Тепловая мощность равна произведению плотности теплового потока на площадь поверхности:

$$N = q \cdot S.$$

Плотность теплового потока

$$q = \frac{\lambda(T_2 - T_1)}{\delta} = \frac{0.4(15 - 0)}{\delta} = \frac{6}{\delta} \text{ Вт/м}^2.$$

Площадь поверхности ёмкости

$$S = 6a^2 = 6 \cdot 4^2 = 96 \text{ м}^2.$$

тогда

$$N = \left(\frac{6}{\delta}\right) \cdot 96 = \frac{576}{\delta} \text{ Вт.}$$

Затраты энергии на плавление

$$E = m \cdot r_{пл} = 0.7 \cdot \rho \cdot V \cdot r_{пл} = 0.7 \cdot 917 \cdot a^3 \cdot 330000 = 0.7 \cdot 917 \cdot 4^3 \cdot 330000 = 13556928000 \text{ Дж.}$$

Произведение мощности на время равно затратам энергии:

$$N \cdot t = E.$$

Потребное время плавления – 90 суток:

$$t = 90 \cdot 24 \cdot 3600 = 7776000 \text{ с.}$$

Тогда

$$7776000 \cdot 576 / \delta = 13556928000$$

в итоге

$$\delta = 0.33 \text{ м.}$$

Задача №2. Механический рекуператор

Условие задачи:

Для повышения эффективности автотранспорта разработан механический рекуператор энергии, представляющий собой маховик, накапливающий энергию при торможении автомобиля, и отдающий её при разгоне.

Автомобиль массой 1200 кг, движущийся со скоростью 70 км/ч, тормозит с помощью рекуперативной системы до 20 км/ч, после чего ускоряется за счет запасенной энергии.

Вопросы:

- 1) До какой скорости может разогнаться автомобиль, если система может реализовать 90% запасенной энергии, КПД преобразования энергии при запасании/реализации составляет 0.8.
- 2) Найти момент инерции тороидального маховика диаметром 0.3 м и массой 20 кг. Найти частоту вращения маховика, позволяющую накопить рассчитанное выше количество энергии.

Решение:

1) При торможении с 70 км/ч (19.44 м/с) до 20 км/ч (5.55 м/с) выделяется количество энергии, равное разнице кинетической энергии до и после:

$$E_{\text{торм}} = \frac{M(V_2^2 - V_1^2)}{2} = \frac{1200 \cdot (19.44^2 - 5.55^2)}{2} = 208267 \text{ Дж.}$$

Кинетическая энергия после торможения составит примерно $E_1 = 18500$ Дж.

Так как КПД системы запасения энергии составляет 80%, то запас энергии равен

$$E_{\text{запас}} = 0.8 E_{\text{торм}} = 0.8 \cdot 208267 = 166613 \text{ Дж.}$$

Поскольку реализовать можно 90% запасенной энергии – это составит

$$E_2 = 0.9 \cdot E_{\text{запас}} \approx 150 \text{ кДж.}$$

КПД возврата энергии при разгоне так же 80%, откуда прибавка кинетической энергии автомобиля $\Delta E = E_2 \cdot 0.8 = 120 \text{ кДж}$.

Кинетическая энергия после разгона составит

$$E_3 = E_1 + \Delta E = 18500 + 120000 = 138500 \text{ Дж,}$$

что соответствует скорости

$$V_3 = \sqrt{\frac{2E_3}{M}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 138500}{1200}} = 15.2 \text{ м/с} = 54.7 \text{ км/ч.}$$

2) Момент инерции кольцевого тела считается как произведение массы на радиус в квадрате и составляет

$$I = mR^2 = 20 \cdot 0.15^2 = 0.45 \text{ кг/м}^2.$$

Частота вращения находится исходя из величины запасенной энергии:

$$E_{\text{запас}} = \frac{I \cdot \omega^2}{2}.$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{запас}}}{I}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 166613}{0.45}} = 860 \text{ рад/с,}$$

что соответствует частоте вращения 137 об/с.

Задача №3. Аэростат

Условие задачи:

Аэростат имеет массу нагрузки 3 кг, массу оболочки 0.3 кг. Номинальный диаметр оболочки 2 м. Молярная масса гелия 4 г/моль, температура гелия постоянная 300 К. Плотность воздуха 1.2 кг/м³.

Вопросы:

- 1) Определить массу гелия, необходимую для отрыва аэростата от земли.
- 2) Определить высоту, на которой объём оболочки достигнет номинального значения, полагая, что плотность воздуха с высотой меняется линейно.

Решение:

- 1) Условием взлёта является равенство силы тяжести и силы Архимеда

$$-F_T + F_A = 0.$$

Сила тяжести действует на все элементы конструкции, включая гелий

$$F_T = (M_{\text{нагр}} + M_{\text{оболочки}} + M_{\text{He}}) g,$$

$$F_A = \rho_{\text{возд}} V_{\text{He}} g.$$

Найдем плотность гелия и его объём:

$$p_0 V_{He} = \frac{M_{He}}{\mu_{He}} R_0 T,$$

$$\rho_{He} = \frac{M_{He}}{V} = \frac{p_0 \mu_{He}}{R_0 T} = \frac{100000 \cdot 0.004}{8.314 \cdot 300} = 0.16 \text{ кг/м}^3,$$

$$V_{He} = \frac{M_{He} R_0 T}{p_0 \mu_{He}}.$$

Подставим в исходное уравнение баланса сил и сократим g:

$$-M_{нагр} - M_{оболочки} - M_{He} + \rho_{возд} \frac{M_{He} R_0 T}{p_0 \mu_{He}} = 0$$

откуда:

$$M_{He} = \frac{M_{нагр} + M_{оболочки}}{\rho_{возд} \frac{R_0 T}{p_0 \mu_{He}} - 1} = 0.51 \text{ кг.}$$

Что соответствует объему $V_{He} = 3.17 \text{ м}^3$.

Номинальный объём оболочки

$$V_{max} = \frac{\pi d_{ном}^3}{6} = \frac{3.14 \cdot 8}{6} = 4.19 \text{ м}^3.$$

Таким образом, $V_{He} < V_{max}$, стало быть, внутри оболочке достаточно места для закачки необходимой массы гелия.

2) Найдем давление, обеспечивающее заполнение максимального объема оболочки:

$$p = \frac{M_{He}}{\mu_{He}} \frac{R_0 \cdot T}{V_{He}} = \frac{0,5077}{0,004} \cdot \frac{8.314 \cdot 300}{4.19} = 75736 \text{ Па.}$$

Пренебрегая изменением плотности воздуха с высотой, можем рассчитывать давление столба воздуха подобно гидростатическому давлению жидкости. Тогда на высоте h давление

$$p = p_0 - \rho_{возд} g h.$$

Отсюда искомая высота

$$h = \frac{p_0 - p}{\rho_{возд} g} = \frac{100000 - 75736}{1.2 \cdot 9.81} = 2044 \text{ м.}$$

Типичные ошибки

При решении задач практической части предпрофессионального экзамена учащиеся допускают ошибки, часть из которых можно назвать типичными и объединить в группы:

- невнимательно прочтено или неправильно понято условие задачи, не учтены указанные в условии ограничения и дополнительные условия, найдены не те величины (даны ответы на вопросы, отличные от тех, что были сформулированы в задаче);
- неправильно понята физика процесса, как следствие в модели не учтены или неправильно учтены факторы, оказывающие определяющие влияние на ход решения и, соответственно, на искомые значения;
- допущены ошибки в выделении физических процессов или в записи физических законов;
- отсутствует (там, где это необходимо) графическая иллюстрация задачи, в результате чего складывается неправильное представление о последовательности этапов прохождения процесса или о структуре и работе системы (изделия, установки, станка и т.д.);
- не проведён анализ полученных результатов в следствие чего получены значения, абсурдные с инженерной точки зрения;
- не приведены в соответствие друг другу единицы физических и технических величин (в задачах часто приводятся единицы, непривычные для школьников, например, погонный метр за 1 секунду)
- учтено избыточное количество данных в результате чего записаны лишние (либо линейно зависимые, либо не оказывающие влияния на решение) соотношения (как правило встречается в задачах с избыточными данными или в результате запроса избыточной справочной информации)

Для успешного решения подобных задач необходимо рассматривать технические процессы и ситуации, описанные в задаче, целиком, анализируя все составляющие и оценивая реалистичность полученных результатов, используя знания школьного курса физики и технический кругозор.

Заключение

Данные методические указания дают возможность получить представление о практических ситуационных задачах конструкторского направления, предлагавшихся на практической части предпрофессионального экзамена в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приведены критерии оценивания и алгоритм решения задач, а также подробные решения. Авторы постарались отметить основные моменты, отличающие ситуационные задачи от более привычных, с которыми приходится сталкиваться школьникам.

Надеемся, приведённые методические указания помогут обучающимся подготовиться к практической части предпрофессионального экзамена.

Список литературы

1. Грачев А. В., Погожев В. А., Салецкий А. М., Боков П. Ю. Физика, 10 кл. М.: «Вентана-Граф», 2018 г.
2. Грачев А. В., Погожев В. А., Салецкий А. М., Боков П. Ю. Физика, 11 кл. М.: «Вентана-Граф», 2018 г.
3. Г.Я. Мякишев и др. Физика. Механика. 10 кл. - М.: Дрофа, 2013. 512 с.
4. Г.Я. Мякишев, А.З. Сиянков. Физика. Молекулярная физика. Термодинамика. 10 кл. М.: Дрофа, 2013. 352 с.
5. Г.Я. Мякишев, А.З. Сиянков. Физика. Электродинамика. 10-11 кл. М.: Дрофа, 2013. 480 с.
6. Г.Я. Мякишев, А.З. Сиянков. Физика. Колебания и волны. 11 кл. М.: Дрофа, 2014. 288 с.
7. Г.Я. Мякишев, А.З. Сиянков. Физика. Оптика. Квантовая физика. 11 кл. М.: Дрофа, 2014. 480 с.
8. Физика. Учебное пособие для 10 класса школ и классов с углубленным изучением физики/ Ю.И. Дик, О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов и др.; Под ред. А.А. Пинского. М.: «Дрофа», 2007.
9. Бутиков Е. И., Кондратьев А. С. Физика. Т.т. 1-3. М.-С.-П.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.
10. Белолипецкий С.Н., Еркович О.С., Казаковцева В.А., Цветинская Т.С. Задачник по физике. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.
11. Низамов И.М. Задачи по физике с техническим содержанием. М.: Просвещение, 2001. 112 с.
12. Предпрофессиональный экзамен // Московский центр качества образования [Сайт]. URL: https://mcko.ru/pages/m_n_d_pre-professional_exam (Дата обращения 01.10.2019)