

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
(Исследовательское 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 **исследовательского направления**, отличающимися необходимостью проведения анализа определенной конструкции или технического (инженерного) решения по заданным критериям. Например, задачи на оптимизацию.

Основной целью задач данного направления является установление частных или фундаментальных зависимостей для характеристик технических (или физических) систем, имеющих признаки общеупотребимых (то есть применимых во всех устройствах аналогичной или подобной структуры). Отличительной особенностью задач исследовательского направления является, как правило, опора на базовые, фундаментальные физические принципы, а также необходимость выводить и облекать в математически строгую форму зависимости, не прописанные в явном виде в школьном курсе, но вытекающие с помощью логических рассуждений и математических операций из условия задачи или анализа физической картины.

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. Дополнительные баллы могут быть начислены за предоставление результатов в строгом соответствии со структурой вопросов задачи.

Бонусные баллы для задач исследовательского направления

- до 3 дополнительных баллов начисляется 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 начисляется за анализ результатов решения (качественная и количественная интерпретация результатов, общие выводы из частного решения, качественная и количественная оценка области применения полученной модели или закономерности).

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

Подпункт	Исследовательская
1. Выделение физических процессов, последовательности и причинно-следственных связей	
Основные баллы	
Графическое описание	
Структурирование	
Максимальное число баллов за этап	
2. 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 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 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. Туристический поход

Условие задачи:

Турист массой 90 кг отправился в поход и взял с собой 15 кг еды, калорийность которой составляет 300 ккал/100 г. В качестве источника энергии у туриста есть ручная динамо-машина, КПД которой равен 20%. Ему необходимо ежедневно выходить на связь в течение 2 минут с помощью рации мощностью 8 Вт.

Маршрут туриста пролегает по горной местности, в день он проходит в среднем 10 км в горизонтальном направлении и при этом осуществляет подъём на 500 м, затрачивая на ходьбу без подъёма 1500 ккал в день.

Считать, что энергетические затраты туриста складываются из затрат на перемещение по местности и на работу динамо-машины.

Вопросы:

- 1) На каком расстоянии и на какой высоте от начальной точки он окажется к тому моменту, когда вся пища закончится? Коэффициент усвоения энергии из пищи равен 10%.
- 2) Как скоро у него закончатся продовольственные запасы?

Дополнительная информация:

1 кал = 4.19 Дж.

Решение:

- 1) Энергетические затраты на туриста в день

$$E = E_1 + E_2 + E_3,$$

где

E_1 – энергия, затрачиваемая на ходьбу;

E_2 – увеличение потенциальной энергии за счет набора высоты;

E_3 – энергия для обеспечения связи с помощью динамо-машины.

$$E_2 = mgh,$$

где $m = 97.5$ кг – масса туриста вместе с едой с учётом того, что масса еды уменьшается

$$E_3 = \frac{P \cdot t}{0.2},$$

где P – мощность рации, t – время сеанса связи.

$$E = 1500 \cdot 10000 \cdot 4.19 + 97.5 \cdot 10 \cdot 500 + \frac{8 \cdot 2 \cdot 60}{0.2} = 6.78 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$$

2) Рассчитаем количество энергии, которое может получить турист от всего запаса продовольствия с учетом коэффициента усвоения

$$W = 4.19 \cdot m \cdot E \cdot \eta = 4.19 \cdot 15 \cdot 300 \cdot 10000 \cdot 0.1 = 18.86 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$$

Количество дней, после которого закончатся продукты питания

$$N = \frac{W}{E} = \frac{18.86 \cdot 10^6}{6.78 \cdot 10^6} = 2.8.$$

Расстояние туриста по горизонтали к моменту исчерпания запасов еды

$$L = N \cdot L = 2.8 \cdot 10 = 28 \text{ км.}$$

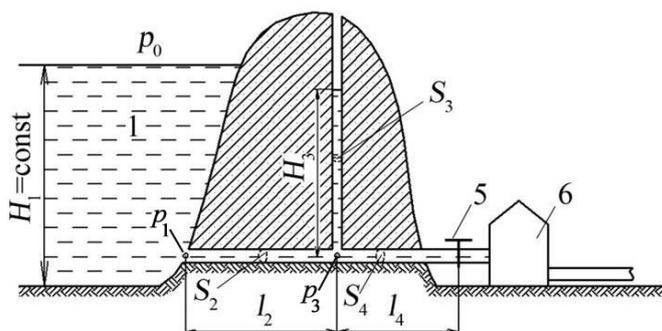
Высота, на которую успеет подняться турист

$$H = 2.8 \cdot 500 = 1400 \text{ м.}$$

Задача №2. Дамба

Условие задачи:

Одним из наиболее экономически выгодных способов генерации электроэнергии является применение гидроэнергетики или гидроэлектростанций. Принципиальная схема гидроэлектростанции представлена на рисунке.



- 1 – водохранилище,
- 2 – напорный туннель,
- 3 – уравнивающий резервуар,
- 4 – трубопровод,
- 5 – запорное устройство,
- 6 – турбина.

Вопросы:

- 1) Определить зависимость высоты столба жидкости в уравнительном резервуаре H_3 от изменения объёмного расхода жидкости на входе в турбину. Считать уровень воды в водохранилище неизменным, гидравлическим сопротивлением запорного устройства пренебречь.
- 2) Определить гидравлический напор на входе в турбину если $R_2=100 \text{ Па}\cdot\text{с}/\text{м}^3$, $R_4=0.5\cdot R_2$, $\rho_{\text{воды}}=1000 \text{ кг}/\text{м}^3$, глубина водохранилища (до входа в напорную магистраль) 200 м, расход $250 \text{ м}^3/\text{с}$.

Дополнительная информация:

Падение давления Δp по длине трубы определяется следующим соотношением

$$\Delta p = Q_{\text{ж}} \cdot R_{\text{т}},$$

где $Q_{\text{ж}}$ – объёмный расход жидкости [$\text{м}^3/\text{с}$], $R_{\text{т}}$ – гидравлическое сопротивление трубы [$\text{Па}\cdot\text{с}/\text{м}^3$]

Для трубы круглого сечения из закона Пуазейля гидравлическое сопротивление равно

$$R_{\text{т}} = \frac{8\eta l}{\pi r^4},$$

где η – динамическая вязкость [$\text{Па}\cdot\text{с}$], l – длина трубы, r – радиус трубы.

Напором или пьезометрическим напором в гидравлике называют величину равную

$$H = z + \frac{p}{\rho g},$$

где z – геометрическая (нивелирная) высота, p – давление жидкости, ρ – плотность жидкости, g – ускорение свободного падения.

Решение:

При закрытом запорном устройстве высота уровня жидкости в уравнительном резервуаре равна высоте уровня жидкости в водохранилище.

Давление p_1 на входе в напорный туннель определяется соотношением

$$p_1 = \rho g H_1$$

и так как $H_1 = \text{const}$ остаётся неизменным.

Падение давления в напорной трубе можно определить из соотношения

$$p_1 - p_3 = R_2 Q_2,$$

тогда

$$p_3 = p_1 - R_2 Q_2.$$

Высота столба жидкости в уравнительном резервуаре

$$H_3 = \frac{p_3}{\rho g}.$$

При постоянном расходе жидкости

$$Q_2 = Q_4.$$

Тогда в зависимости от объёмного расхода жидкости на входе в турбину

$$H_3 = H_1 - \frac{R_2 Q_4}{\rho g}.$$

При увеличении объёмного расхода уровень будет понижаться.

2) Предположим, что на входе в турбину давление p_6 , тогда

$$p_1 - p_6 = Q_2 (R_2 + R_4),$$

$$p_6 = p_1 - Q_2 (R_2 + R_4).$$

Так как труба горизонтальна, то

$$H_6 = H_1 - \frac{Q_4 (R_2 + R_4)}{\rho g} = 200 - \frac{250 \cdot 1.5 \cdot 100}{1000 \cdot 10} = 196 \text{ м.}$$

Задача №3. Молния

Условие задачи:

Разряд молнии длится 0.1 с. За это время разряжается заряд порядка 100 Кл при напряжении 1 МВ. Для захвата молнии используется стальной громоотвод длиной 10 м, соединенный с конденсатором.

Вопросы:

- 1) До какой температуры нагреется кабель громоотвода. Сечение квадратного силового кабеля громоотвода составляет 2 мм. Ток разряда считать постоянным. Удельное сопротивление стали $r = 0.000000282$ Ом·м. Начальная температура 300 К. Теплоёмкость стали 460 Дж/(кг·К), плотность – 7900 кг/м³.
- 2) Рассчитать ёмкость конденсатора, способного запасти энергию разряда молнии. Зазор между обкладками 0.01 м, $\epsilon = 5.2$.

Решение:

1) Температура нагрева определяется выделяющейся в проводнике тепловой мощностью, временем воздействия и теплоемкостью проводника. Запишем уравнение баланса энергии

$$N \cdot t = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1),$$

$$(R \cdot I^2) \cdot t = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)$$

Сила тока определяется зарядом молнии и временем воздействия:

$$I = q / t$$

Сопротивление проводника считается как

$$R = r \cdot L / S = r \cdot L / (\pi d^2 / 4) = 4r \cdot L / (\pi d^2)$$

Выразим температуру

$$T_2 = \frac{RI^2 \cdot t}{m \cdot c} + T_1 = \frac{4r \cdot L \left(\frac{q}{t} \right)^2 t}{\rho \frac{\pi d^2}{4} Lc} + T_1$$

Тогда

$$T_2 = 785 \text{ К.}$$

2) Ёмкость конденсатора определим из известного напряжения и потребной энергии:

$$E = \frac{CU^2}{2}$$

$$C = \frac{2E}{U^2} = \frac{2(q \cdot U)}{U^2} = \frac{2q}{U} = 0.0002 \text{ Ф}$$

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 определяющее 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 исследовательского 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)