

Министерство образования и науки 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;

Козичев В.В., инженер НИИ
«Энергомашиностроение» МГТУ им. Н.Э.
Баумана

Москва 2018

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 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:

- Технологическое (инженер-технолог);
- Исследовательское (инженер-исследователь);
- Конструирование (инженер-конструктор);
- 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 делятся на два основных вида (отличающихся только направлением решения):

- а) Определение характеристик технической системы по заданным параметрам,
- б) 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 60 минут, возможно получить 50 баллов максимально. Затем происходит защита решения, презентация 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.

Дополнительные баллы для задач различных направлений

Конструкторские задачи:

- 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 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.

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	
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 сопровождение 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, полная 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, использовать некоторые упрощения. На заключительном этапе проводятся математические преобразование, 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.

Таким образом, можно выделить следующие шаги в решении практических ситуационных задач:

1. Выделить (назвать) основные физические процессы и явления, лежащие в основе работы и/или оказывающие влияние на работу описанных в поставленной задаче технических объектов, а также установить их последовательность и причинно-следственные связи.

2. Привести, при необходимости, графическое (схематическое) описание поставленной задачи.

3. Формализовать задачу, т.е. сформулировать вводимые при решении задачи допущения, привести необходимые для её решения базовые физические соотношения (формулы).

4. Определить есть ли необходимость в дополнительных исходных или справочных данных.

5. Составить систему уравнений (математическую модель), решить её, получить аналитические соотношения для искомых величин.

6. Произвести числовые расчеты, проверив соответствие единиц измерения физических величин.

7. Представить полученные результаты в соответствии с вопросами задачи.

Примеры задач с решениями

Задача №1. Акустический буй

Условие задачи:

Акустический буй, сбрасываемый с самолета, состоит из двух частей – блока приборов объемом 1 л, массой 2 кг и гермокапсулы с воздухом объемом 2 л и массой 0,1 кг. Форма буя обеспечивает отсутствие сопротивления при движении в воде. По достижении давления 2 атм капсула разрушается и выпускает воздух. Буй сбрасывают с высоты 20 м без начальной скорости.

Вопросы:

- 1) Найти скорость в момент входа в воду и начальное ускорение в воде.
- 2) Какова высота сброса, выше которой буй в итоге утонет, а ниже которой – всплывёт?

Решение:

1) Скорость снаряда при входе в воду определяется начальной высотой свободного падения. Проще всего посчитать через перевод потенциальной энергии в кинетическую

$$mgH = \frac{mv^2}{2},$$

Откуда

$$v = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 20} = 19,8 \text{ м/с.}$$

Ускорение в воде определяется массой снаряда и действующими на него силами – тяжести и Архимеда

$$a = \frac{-F_T + F_A}{m} = \frac{-mg + \rho_{H_2O}Vg}{m} = \frac{-2,1 \cdot 9,8 + 1000 \cdot 0,003 \cdot 9,8}{2,1} = 4,2 \text{ м/с}^2.$$

Поскольку параметры плавучести не меняются, движение в воде будет равнозамедленным. При этом буй достигнет глубины

$$h = \frac{v^2}{2a} = \frac{gH}{a} = 46,67 \text{ м.}$$

Гермокапсула выдерживает давление 2 атм (то есть избыточное давление 1 атм), что соответствует глубине погружения около 10 м. Значит капсула разрушится, плавучесть снаряда станет отрицательной и он опустится на дно.

2) Высота сброса определяется начальной скоростью снаряда. Если снаряд не достигнет глубины 10 м, капсула останется цела и снаряд всплывет. Подставив, $h = h_{max}$ в последнюю формулу, найдем из нее предельно допустимую высоту сброса:

$$H_{max} = \frac{ah_{max}}{g} = 4,3 \text{ м}$$

Задача №2. Подводный аппарат

Условие задачи:

Подводный аппарат состоит из герметичного обитаемого отсека объемом 20 м³. В отсеке размещены баллоны со сжатым газом под избыточным давлением 10 атм (106 Па). Также имеется балластная цистерна (20 м³), соединенная с окружающей средой (напрямую) и с баллонами, наполненными газом (через управляемый экипажем вентиль).

Масса пустого корабля составляет 30000 кг.

Заполнение балластной цистерны осуществляется путем стравливания за борт находящегося в ней газа и одновременного заполнения её забортной водой.

По мере заполнения балластной цистерны водой в определенный момент достигается нейтральная плавучесть, после чего корабль начинает погружаться.

Вопросы:

1) При каком объеме забортной воды в балластной цистерне достигается нейтральная плавучесть на нулевой глубине?

2) До какой глубины возможно вытеснение воды запасенным в баллонах сжатым газом?

3) Какая масса газа должна быть запасена в баллонах для обеспечения однократного всплытия с глубины 80 м при исходной нейтральной плавучести.

Дополнительная информация:

Рабочий вытесняющий газ – азот. Молекулярная масса 28. Температура вытесняющего газа 300 К.

Решение:

В данном случае последовательность анализа физики соответствует очередности вопросов. При этом формализация и расчеты проводятся по ходу разбора физики, а не отдельным этапом.

Нейтральная плавучесть достигается при равенстве силы тяжести корабля и силы Архимеда, действующей на газовый объем полностью погруженного корабля.

Сила тяжести корабля:

$$F_T = Mg = 30000 \cdot 9,81 = 294300 \text{ Н}$$

Сила Архимеда:

$$F_A = V \rho g$$

где V – объём отсеков корабля, заполненных воздухом, а $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность вытесняемой кораблём воды.

Приравняв правые части, найдём объём воздуха в лодке, необходимый для обеспечения нейтральной плавучести:

$$V = \frac{Mg}{\rho g} = \frac{M}{\rho} = \frac{30000}{1000} = 30 \text{ м}^3$$

Вычитая этот объём из общего объёма корабля, определим объём принятой воды, необходимый для достижения нейтральной плавучести:

$$V_{\text{воды}} = 40 \text{ м}^3 - 30 \text{ м}^3 = 10 \text{ м}^3$$

2) Вытеснение балластной воды возможно в том случае, если давление в баллонах с газом больше давления окружающей среды.

Как известно, высота столба жидкости оказывает давление, равное $p = \rho gh$. Выразим из данного уравнения глубину (высоту столба жидкости) и подставим в качестве давления величину давления в баллонах:

$$H = \frac{p}{\rho g} = \frac{10^6}{9,81 \cdot 10^3} = 101,93 \text{ м}$$

Ниже этой глубины при открытии вентиля вода начнет заполнять и ёмкости сжатого газа.

3) Давление газа в цистерне на глубине $h = 80 \text{ м}$ должно обеспечивать объём газа, соответствующий нейтральной плавучести. Как показано выше, последний составляет половину объёма цистерны: $V_{\text{пл}} = 10 \text{ м}^3$.

Тогда, согласно уравнению Менделеева-Клапейрона имеем:

$$(\rho gh + p_{\text{атм}}) V_{\text{пл}} = \frac{m R_0 T}{\mu}$$

Для простоты примем ситуацию, при которой для погружения был стравлен весь воздух из балластной цистерны, и объём газа необходимо восстановить с нуля.

Выразив из последнего соотношения массу газа, получим:

$$m = \frac{\mu (\rho gh + p_{\text{атм}}) \cdot V_{\text{пл}}}{R_0 T} = \frac{28 \cdot 10^{-3} (1000 \cdot 9,8 \cdot 80 + 100000) \cdot 10}{8,314 \cdot 300} = 99,33 \text{ кг}$$

Как видно, в данном случае мы исходили из допущения, что процесс расширения из баллона является изотермическим (технически это осуществимо различными способами, от нагрева бортовым источником до пропуска через теплообменник с забортной водой).

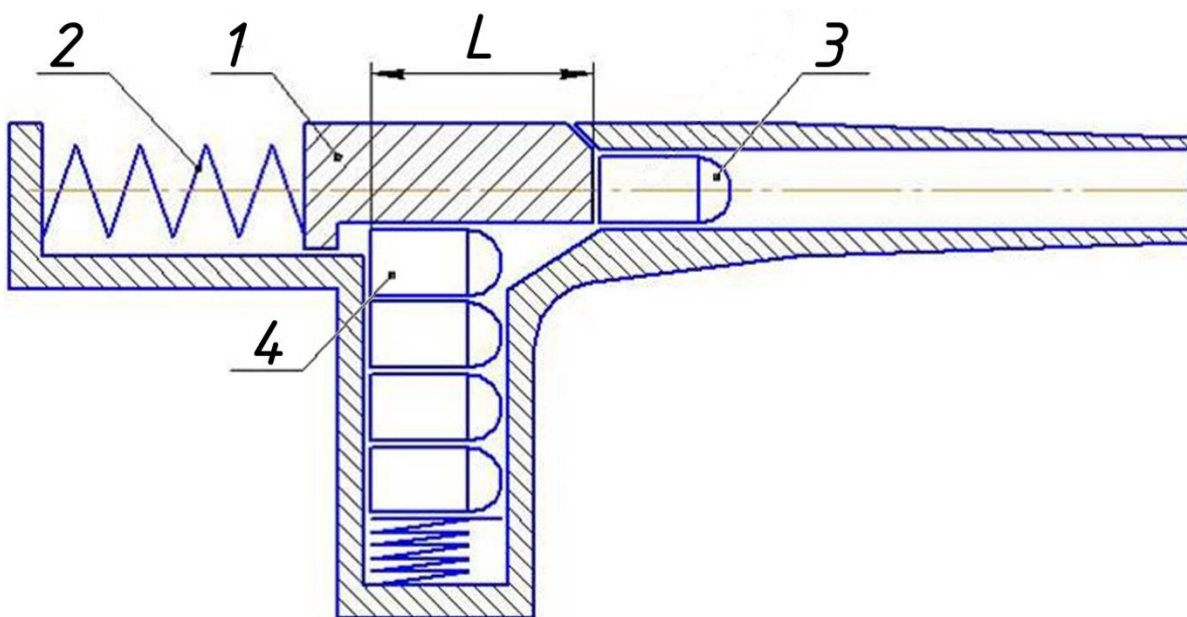
Данное (несколько упрощенное) решение является базовым, позволяющим вплотную приблизиться к максимальной оценке за задачу.

Учет дополнительных деталей (влияние силы Архимеда не только на газовый объем, но и на объем 30 тонн стали, учет охлаждения при адиабатическом расширении и т.п.) позволяет рассчитывать на дополнительные баллы из резерва оценки задачи, либо на этапе защиты решения.

Задача №3. Пистолет

Условие задачи:

Стрелковые системы со свободным затвором работают за счет энергии выстрела. При выстреле за счет закона сохранения импульса затвору 1 придается скорость, направленная в противоположном направлении вылета снаряда (пули) 3 сторону. Сдвигаясь по инерции назад, затвор сжимает возвратную пружину 2, переводя в её потенциальную энергию свой запас кинетической энергии. Достигнув задней точки, под действием сжатой пружины 2 затвор 1 движется вперед, досылая в патронник новый патрон 4.



Масса вылетающего снаряда (пули) 3 составляет 0,01 кг. Масса затвора 1 0,25 кг. Дистанция подхвата патрона 4 затвором $L = 0,08$ м. Полная дистанция отката затвора $X = 0,12$ м. Масса досылаемого патрона 0,03 кг. В начальный момент времени пружина 2 полностью расслаблена. Начальная скорость снаряда 300 м/с.

Вопросы:

- 1) определите начальную скорость движения затвора.
- 2) определите требуемую жесткость возвратной пружины, обеспечивающей указанную выше дистанцию отката затвора.

3) определите скорость досылания патрона в патронник, если после захвата снаряда затвором они движутся как единое целое (абсолютно неупругий удар).

Потерями энергии – пренебречь. Пружину считать невесомой. В начальном положении пружина не деформирована.

Решение:

1) Начальная скорость движения затвора оценивается с помощью закона сохранения импульса:

$$m \cdot u + M \cdot U = 0,$$

$$U = -\frac{m \cdot u}{M} = -\frac{0,01 \cdot 300}{0,25} = -12.$$

Знак «-» здесь показывает направление движения затвора – против направления движения пули.

2) При откате затвора пружина сжимается, запасая в виде потенциальной энергии сжатой пружины кинетическую энергию затвора. Таким образом, без учета потерь можно записать уравнение закона сохранения энергии:

$$\frac{M \cdot U^2}{2} = \frac{k \cdot X^2}{2}$$

откуда жесткость пружины равна:

$$k = \frac{M \cdot U^2}{X^2} = \frac{0,25 \cdot 12^2}{0,12^2} = 2500 \text{ Н/м.}$$

3) Для оценки скорости досылания патрона (скорость связки патрон-затвор в момент возврата затвора в крайнее переднее положение) необходимо определить параметры движения на двух участках: от крайней задней точки до подхвата снаряда, и от подхвата снаряда до крайней передней точки.

Скорость движения затвора к моменту подхвата патрона определяется степенью обратного преобразования энергии – от энергии сжатой пружины к кинетической энергии движущегося затвора. Запас потенциальной энергии соответствует степени сжатия пружины. Для трёх характерных точек (при движении затвора назад) он составляет:

	Задняя точка $X = 0,12 \text{ м}$	Точка подхвата $X = 0,08 \text{ м}$	Передняя точка $X = 0,00 \text{ м}$
$E_k = (M \cdot U^2)/2, \text{ Дж}$	0	10	18
$E_p = (k \cdot x^2)/2, \text{ Дж}$	18	8	0
$U, \text{ м/с}$	0	8,9	12

Так же в таблице приведена скорость движения затвора.

Скорость затвора после подхвата патрона определяется с помощью закона сохранения импульса:

$$M \cdot U = (M + m) \cdot W,$$
$$W = \frac{M \cdot U}{(M + m)} = \frac{0.25 \cdot 8.9}{(0.25 + 0.03)} = 7.95 \text{ м/с}$$

При этом, после подхвата снаряда системе затвор-патрон сообщается энергия, остающаяся запасенной в сжатой пружине:

$$\frac{(M + m) \cdot W^2}{2} + E_p = \frac{(M + m) \cdot w^2}{2},$$

откуда

$$w = \sqrt{W^2 + \frac{2 \cdot E_p}{(M + m)}} = \sqrt{7.95^2 + \frac{2 \cdot 8}{0.28}} = 10.97 \text{ м/с}.$$

Задача для самостоятельного решения

Задача №5. Монолит

Условие задачи:

При строительстве инновационного монолитного сооружения применяются различные марки композиционных материалов на основе цемента, различающиеся, в том числе, плотностью и прочностью (максимальное давление, которое может выдержать материал). Ниже приведены данные параметры для нескольких марок материала:

Марка	Плотность, кг/м ³	Предел прочности на сжатие, МПа
M1	1800	10
M2	2200	20
M3	2400	25

Вопросы:

- 1) Какова максимальная высота цилиндрической монолитной колонны, выполненной из каждой марки материала?
- 2) Какова максимальная высота цилиндрической колонны, которая может быть изготовлена с применением указанных материалов?
- 3) Какова максимальная высота стены, представляющей собой сужающийся кверху клин с соотношением высоты к толщине основания равным 8, построенный с применением указанных выше материалов?

Заключение

Данные методические указания дают возможность получить представление о практических ситуационных задачах технологического 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, это поможет обучающимся подготовиться к практической части предпрофессионального экзамена.