

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**  
**(Технологическое 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.....	7
Примеры задач с решениями .....	9
Типичные ошибки.....	20
Заключение .....	22
Список литературы .....	23

## 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).

Остановимся подробнее на **технологическом направлении**, которое включает задачи, направленные на выбор параметров производственного (технологического) процесса или оборудования. Например, определение параметров обработки резаньем, потребных характеристик токарного станка, технологических условий изготовления композитных изделий и т.д.

Основная специфика задач данного направления заключается в рассмотрении технических систем производственного назначения (от технологического оборудования до процесса изготовления и конечных свойств изделия). Работа в данном направлении подразумевает базовое (поверхностное) знакомство с традиционными и передовыми машиностроительными технологиями.

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 технологического направления:*

- до 3 бонусных баллов начисляется за корректный выбор и учет параметров производственного (технологического) процесса;
- до 3 дополнительных баллов начисляется за качественный анализ факторов, влияющих на параметры и характеристики технологического процесса и предложения по оптимизации процесса.

#### *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**

<b>1. Выделение физических процессов, последовательности и причинно-следственных связей</b>	
Осно вные балл ы	
Граф ичес кое опис ание	
С	
Макс имал ьное числ о балл ов за этап	
<b>2. Формализация физических процессов</b>	
Осно вные балл ы	
Макс имал ьное числ о балл ов за этап	

### 3. Подготовка системы уравнений, алгоритма, математической модели

Осно вные балл ы	
Прео браз ован ие систе мы урав нени й	
Макс имал ьное числ о балл ов за этап	

### 4. Проведение расчетов, получение и представление результата

Расч еты и резул ьтат	
Пред ставл ение резул ьтата	
Макс имал ьное числ о балл ов за этап	

### 5. Дополнительные баллы в соответствии со спецификой задачи

Максимальное число баллов за этап	
<b>Общее количество баллов</b>	
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.

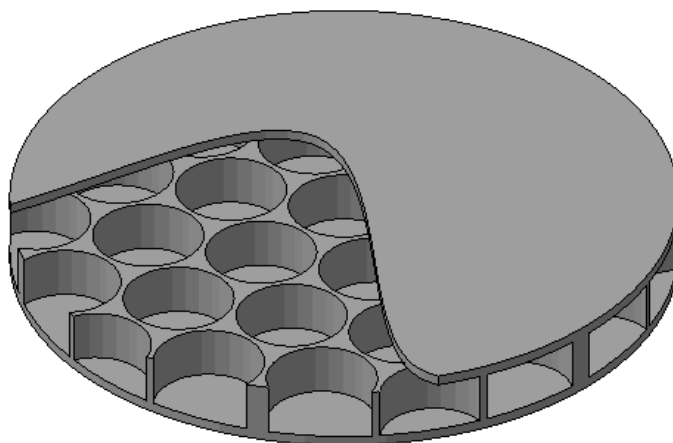


## Примеры задач с решениями

### Задача №1. Сотовая структура

#### Условие задачи:

Общая схема подготовки композиционного материала заключается в пропитке армирующего материала (например, стеклянной ткани) жидким связующим, придании материалу необходимой формы и полимеризации (отверждении) связующего.



Для увеличения жесткости материала разработана схема создания сотовой структуры, состоящих из двух слоев материала, разделенных пустотами (областями малой плотности) с тонкими перегородками. Сперва выкладывается нижний слой пропитанной стеклоткани, затем выкладывается слой пенопластовых дисков в виде сотовой структуры, зазоры заливаются связующим и сверху укладывается конечный слой стеклоткани.

Слой стеклоткани имеет толщину 0,3 мм, армирующая ткань занимает 50% объема слоя. Связующее имеет плотность  $1200 \text{ кг/м}^3$ . Пенопластовые диски имеют диаметр 30 мм, высоту 10 мм, плотность  $80 \text{ кг/м}^3$  и выкладываются с шагом 32 мм.

#### Вопросы:

- 1) Определить поверхностную плотность материала [ $\text{кг/м}^2$ ].
- 2) Определить необходимое число работников для подготовки  $0,05 \text{ м}^2/\text{мин}$  среднего слоя при условии, что выкладка пенопластовых сот занимает 10 с/шт.

#### Решение:

##### Описание

Материал состоит из трёх слоев. Средняя плотность каждого определяется объёмными долями компонентов. Для первого и третьего слоев – ткань и связующее, для среднего слоя – пенопластовые блоки и связующее. Поскольку слои накладываются друг на друга, средняя (поверхностная) плотность материала равна сумме плотностей слоёв.

Состав рабочей группы определяется трудозатратами на изготовление 1 м<sup>2</sup> каждого слоя материала.

*Формализация:*

Средняя объёмная плотность:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{V_1 \cdot \rho_1 + V_2 \cdot \rho_2}{V_1 + V_2} = \frac{V_1 \cdot \rho_1}{V_1 + V_2} + \frac{V_2 \cdot \rho_2}{V_1 + V_2} = v_1 \cdot \rho_1 + v_2 \cdot \rho_2,$$

здесь  $v_i$  – доля объема, занимаемая  $i$ -м компонентом.

Объёмная доля ткани в слое задана по условию и равна 0.5. Таким образом, средняя плотность внешних слоев составляет:

$$\rho = v_1 \cdot \rho_1 + v_2 \cdot \rho_2 = 0.5 \cdot 1200 + 0.5 \cdot 1400 = 1300 \text{ кг/м}^3.$$

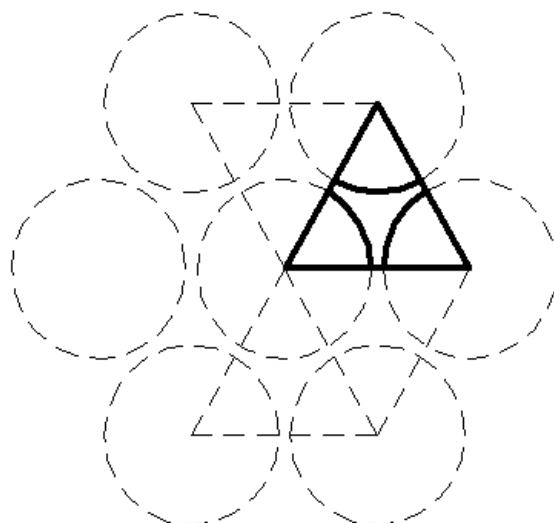
Для получения поверхностной плотности домножим объёмную плотность на толщину слоя материала:

$$\rho_s = \rho \cdot \delta = 1300 \cdot 0.0003 = 0.39 \text{ кг/м}^2.$$

Для оценки доли материалов в среднем слое рассмотрим структуру укладки поверхности. Поскольку структура постоянна по высоте – доля объема будет равна доли площади, занимаемой материалами.

Элементарная ячейка, которой можно замостить всю поверхность, состоит из равностороннего треугольника со стороной 32 мм и трех 60-градусных секторов окружности диаметром 30, что в сумме дает половину площади соответствующего круга.

Очевидно, доля пенопласта равна отношению площади полукруга к площади треугольника. Посчитаем:



$$S_{\text{треугольн}} = a^2 \frac{\sqrt{3}}{4}. \quad S_{\text{полуокр.}} = \frac{1}{2} \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot D^2}{8}.$$

*Проведение расчетов:*

$$v_{\text{пенопласта}} = \frac{S_{\text{полуокр.}}}{S_{\text{треугольн}}} = \frac{\pi \cdot D^2}{8} \cdot \frac{4}{a^2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{\pi \cdot D^2}{2 \cdot a^2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{\pi \cdot 30^2}{2 \cdot 32^2 \cdot \sqrt{3}} = 0.797.$$

Тогда средняя плотность слоя составит:

$$\rho = 0.797 \cdot 80 + 0.203 \cdot 1200 = 307 \text{ кг/м}^3,$$

а поверхностная плотность:

$$\rho_s = \rho \cdot \delta = 307 \cdot 0.01 = 3.07 \text{ кг/м}^2.$$

Тогда общая поверхностная плотность составит

$$\sum \rho_s = 0.39 + 3.07 + 0.39 = 3.85 \text{ кг/м}^2.$$

Длину ряда сот можно принять равной

$$l = a \cdot m,$$

где  $a = 0.032$  – шаг выкладки,  $m$  – количество сот в ряду. Высоту ряда можно принять равной  $\frac{a\sqrt{3}}{2}$ . Тогда, без учета краёв,  $n$  таких рядов занимают площадь

$$S = \frac{a^2\sqrt{3}}{2} m \cdot n$$

Скорость выкладки одним человеком в таком случае, очевидно, составит:

$$v_1 = \frac{S}{m \cdot n \cdot t_0} = \frac{a^2\sqrt{3}}{2t_0},$$

где  $t_0 = 10$  с/шт – время выкладки одной соты. Тогда количество человек, необходимое для выкладки со скоростью  $v = 0.05$  м<sup>2</sup>/мин, определяется соотношением:

$$N = \frac{v}{v_1} = \frac{2v \cdot t_0}{a^2\sqrt{3}} = \frac{2 \cdot 0.05 \frac{\text{м}^2}{60\text{с}} \cdot 10\text{с}}{(0.032\text{м})^2 \sqrt{3}} \approx 9.$$

## Задача №2. Намотка композита

### Условие задачи:

Для изготовления стеклопластиковых труб проводится намотка на оправку (форму) ткани из тонких стеклянных нитей, пропитанной связующим (жидкий материал, превращающийся в пластмассу под воздействием физических или химических факторов). После этого проводится отверждение связующего.

В качестве связующего используется двухкомпонентный состав, состоящий из двух объемных долей эпоксидной смолы и одной объемной доли отвердителя. Плотность обоих компонентов составляет 1200 кг/м<sup>3</sup>. Стеклянная ткань (плотность материала 2500 кг/м<sup>3</sup>) имеет толщину 0.2 мм, а нити занимают 20% её объема.

Для подготовки пропитанной ткани компоненты связующего из двух емкостей под давлением подаются в смеситель, после чего в пропиточную ванну, где происходит пропитка ткани и отжим избыточного связующего перед намоткой.

Объемный расход жидкости через отверстие в первом приближении может быть определен по формуле

$$Q = S \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \text{ м}^3/\text{с},$$

где  $S$  – площадь сечения отверстия,  $\Delta p$  – избыточное давление в емкости с жидкостью,  $\rho$  – плотность жидкости.

**Вопросы:**

- 1) Каков необходимый расход компонентов связующего (в кг/с) для производства стеклопластиковой трубы средним диаметром 100 мм с толщиной стенки 4 мм, если производительность завода составляет 100 м/час.
- 2) Каков потребный расход ткани для намотки полного слоя трубы.
- 3) Определите диаметры отверстий для подачи смолы и отвердителя, если избыточное давление подачи составляет 2 атм.
- 4) Определите массу 1 метра трубы.

**Решение:**

Проведем подробный разбор задачи в соответствии с рекомендованным алгоритмом и соответствующими критериями оценки. Некоторое неудобство доставляет вопрос приоритета структуры – использовать последовательность алгоритма и разбирать в каждом пункте вопросы оптом, либо проводить разбор по алгоритму каждого вопроса. В принципе возможно органическое сочетание двух подходов. В приведенном примере алгоритм разбора имеет не абсолютный, но значимый приоритет.

В данном случае проведем описание и формализацию последовательно, хотя возможно и их синхронное проведение (формула сразу за описанием).

*Выделение физических процессов:*

Прежде всего, указанные материалы расходуются на формирование трубы – то есть заполнение объема её стенки. Зная поперечные размеры трубы, можно определить площадь сечения (и объем материала, расходуемый на изготовление 1 метра трубы).

Зная производительность завода (в погонных метрах трубы за единицу времени) и площадь сечения трубы – можно определить суммарный объемный расход материала. Зная объемные доли компонентов (ткани и связующего) можно определить их объемные расходы, а зная их плотности – и массовые расходы.

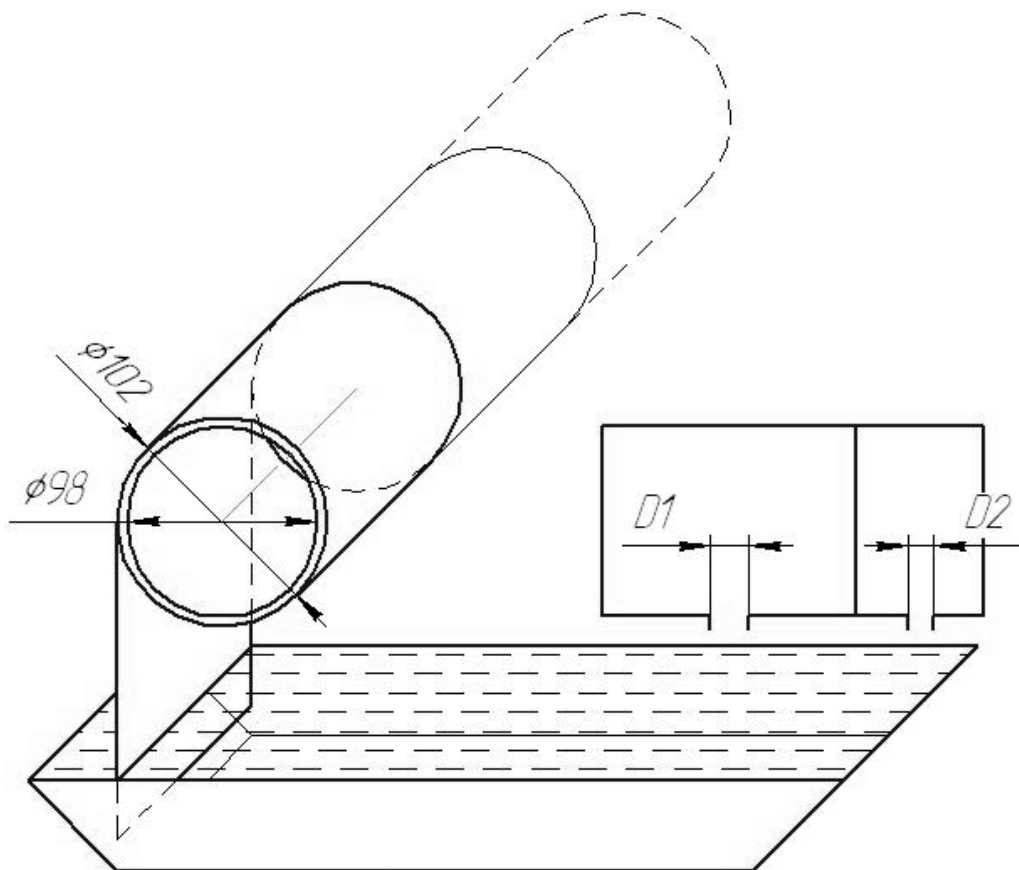
Зная толщину стенки и толщину стеклянной ткани (условно несжимаемой) можно определить количество слоев в трубе и, следовательно, необходимую площадь ткани для изготовления 1 п.м. трубы. А зная производительность завода – общий расход в м<sup>2</sup>/с.

Расход ткани и массовые расходы компонентов связующего являются ответом на вопрос №1.

Из формулы для объемного расхода жидкости, зная плотность материалов и избыточное давление подачи, можно определить площади (а значит и диаметры) отверстий, что является ответом на вопрос №2.

Стеклянная ткань является несжимаемой, но слои ложатся один на другой без зазора. То есть в намотанной на оправку ткани 20% объема занимает стекло, а

остальные 80% объема – связующее. Исходя из плотностей материалов, можно найти массу 1 п.м. трубы, что является ответом на вопрос №3.



*Формализация физических процессов и подготовка системы уравнений, фактически, в данном примере свернуты в один пункт, ввиду отсутствия жёсткой последовательности расчётов:*

Площадь сечения материала трубы составляет:

$$S = \pi(D^2 - d^2) / 4,$$

где  $D$  и  $d$  – внешний и внутренний диаметры трубы соответственно.

Объемный расход материала трубы составляет:

$$V = S \frac{L}{T},$$

где  $L/T = 100 \text{ п.м} / \text{час}$  – производительность завода. Для приведения параметров к системе СИ разделим объемный расход на количество секунд в часе:

$$V_s = \frac{SL}{3600} \left( \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right).$$

Объем  $l = 1$  п.м. трубы составляет  $V_1 = Sl$ .

Известно, что нити занимают 20% объема ткани, а значит и намотанного материала. Определим потребные объемные расходы компонентов:

$V_{\text{ткани}} = 0.2V_s$  – объемный расход стеклянных нитей в ткани,

$$V_{\text{смолы}} = \frac{2}{3}(1-0.2)V_s,$$

$$V_{\text{отвердителя}} = \frac{1}{3}(1-0.2)V_s.$$

Массовый расход ткани определяется объемным расходом материала и его плотностью

$$M_{\text{ткани}} = V_{\text{ткани}} \rho_{\text{стекла}}.$$

Массовые расходы смолы и отвердителя, соответственно:

$$M_{\text{смолы}} = V_{\text{смолы}} \rho_{\text{смолы}},$$

$$M_{\text{отв}} = V_{\text{отв}} \rho_{\text{отв}}.$$

Количество слоев в ткани составляет

$$n = \frac{D-d}{2h}.$$

Здесь  $(D-d)/2$  – толщина одной стенки,  $h$  – толщина слоя ткани.

Приняв средний диаметр трубы за диаметр намотки, определим длину ткани для намотки полной толщины:

$$X = \pi D_{\text{mid}} n.$$

Площадь отверстий выражается из формулы для расхода жидкости

$$Q \sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot \Delta p}} = S = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}.$$

Отсюда диаметр:

$$\sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi} \sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot \Delta p}}} = D_1.$$

*Проведение расчетов:*

1) Расход ткани

$$M_{\text{ткани}} = V_{\text{ткани}} \rho_{\text{стекла}}.$$

$$V_{\text{ткани}} = 0.2V_s.$$

$$V_s = \frac{SL}{3600} \left( \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right).$$

$$S = \pi \frac{D^2 - d^2}{4}.$$

$$M_{\text{смола}} = V_{\text{смола}} \rho_{\text{смола}}.$$

$$V_{\text{смола}} = \frac{2}{3}(1-0,2)V_s.$$

$$M_{\text{смола}} = \frac{2}{3}(1-0,2)\pi \frac{D^2 - d^2}{4} \cdot \frac{L}{3600} \rho_{\text{смола}}.$$

$$M_{\text{смола}} = \frac{2}{3}(1-0,2)\pi \frac{0,102^2 - 0,098^2}{4} \cdot \frac{100}{3600} \cdot 1200 = 0,0167 \text{ кг / с.}$$

Аналогично

$$M_{\text{отв}} = 0,00837 \text{ кг/с.}$$

Количество слоев в ткани

$$n = \frac{D-d}{2h} = (0,102 - 0,098) / (2 \cdot 0,0002) = 10.$$

Расход ткани на полную толщину трубы

$$X = \pi D_{\text{mid}} n = \pi \cdot 0,1 \cdot 10 = 3,14 \text{ п.м.}$$

Диаметр отверстия для подачи смолы

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi} \sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot \Delta p}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0000139}{\pi} \sqrt{\frac{1200}{2 \cdot 200000}}} = 0,00098 \text{ м, то есть } 0,98 \text{ мм.}$$

Диаметр отверстия для подачи отвердителя, соответственно:

$$D_2 = 0,00069 \text{ м.}$$

Масса 1 метра трубы складывается из массы стеклянной ткани и массы связующего.

Масса ткани для 1 п.м. трубы составляет

$$M_{\text{ткани}} = 0,2S \cdot 1\text{м} \cdot \rho_{\text{стекла}} = 0,2\pi \frac{D^2 - d^2}{4} \cdot 1\text{м} \cdot \rho_{\text{стекла}}.$$

$$M_{\text{ткани}} = 0,2\pi \frac{0,102^2 - 0,098^2}{4} \cdot 1\text{м} \cdot 2500 = 0,314 \text{ кг.}$$

Масса связующего (так как плотность компонентов одинакова – рассматриваем его как один материал с плотностью 1200 кг/м<sup>3</sup>)

$$M_{\text{ткани}} = 0,2S \cdot 1\text{м} \cdot \rho_{\text{стекла}} = \pi \frac{D^2 - d^2}{4} \cdot 0,8 \cdot 1\text{м} \cdot \rho_{\text{стекла}}.$$

$$M_{\text{ткани}} = \pi \frac{0.102^2 - 0.098^2}{4} \cdot 0.8 \cdot 1\text{м} \cdot 1200 = 0.603 \text{ кг.}$$

Итого, полная масса 1 п.м. трубы составляет 0.917 кг.

Ответ:

- 1) Необходимый расход смолы составляет 0.0167 кг/с, отвердителя 0.00837 кг/с.
- 2) Необходимый диаметр отверстий подачи смолы и отвердителя составляет 0.8 мм и 0.69 мм соответственно.
- 3) 1 метр трубы имеет массу 0.917 кг.

*Комментарии к оценке.*

Подпункт	Максимальное число баллов	Оценка решения
<b>1. Выделение физических процессов, последовательности и причинно-следственных связей</b>		
Основные баллы	8	8
Графическое описание	+3	+1
Структурирование	+2	+1
Максимальное число баллов	<b>13</b>	<b>10</b>
<b>2. Формализация физических процессов</b>		
Основные баллы	9	8
Максимальное число баллов	<b>9</b>	<b>8</b>
<b>3. Подготовка системы уравнений, алгоритма, математической модели</b>		
Основные баллы	8	8
Математические преобразования	+2	+1
Максимальное число баллов	<b>10</b>	<b>9</b>
<b>4. Проведение расчетов, получение и представление результата</b>		
Расчеты и результат	8	8
Представление результата	+4	+4
Максимальное число баллов	<b>12</b>	<b>12</b>
<b>5. Дополнительные баллы в соответствии со спецификой задачи</b>		
Максимальное число баллов за этап	<b>6</b>	
<b>Σ Сумма баллов</b>	<b>50</b>	<b>39</b>

Описание физических процессов в целом верное, но, местами, недостаточно подробное. Ввиду обилия мелких формул и отсутствия основных, формирующих решение задачи, крупных уравнений, оценка проводится в целом, а не делится на строгий подсчет по уравнениям.



Графическое описание не содержит указания диаметров отверстий, направления подачи компонентов связующего, направления вращения оправки и подачи ткани. При этом структурно схема процесса приведена верно, хотя отсутствует смеситель.

Формализация и подготовка модели, ввиду обилия мелких формул и отсутствия сложных преобразований, оцениваются совместно и одинаково. Уравнения записаны корректно, но недостаточно подробно (например, доля стекла в материале записана просто как число 0.2 – а не через соответствующий коэффициент с пояснениями). Бонусный балл введён за подробное изложение последовательности формул перед их сверткой в одну расчётную зависимость.

Расчёты проведены корректно. Четыре бонусных балла начислено за четкое изложение ответа в строгом соответствии со структурой вопросов задачи.

### **Задача №3. Лушение древесины**

#### ***Условие задачи:***

В процессе производства шпона (тонкого листа древесины) бревно вращается вокруг своей оси. По касательной к поверхности древесины подается нож, срезающий тонкий слой материала.

Начальный диаметр заготовки составляет 0.6 м.

#### ***Вопросы:***

- 1) Определите конечный диаметр заготовки, если срезается слой толщиной 3 мм, а относительная толщина должна быть не меньше 20 радиусов.
- 2) Определите момент вращения в зависимости от диаметра заготовки шириной 1.8 м, если удельное усилие резания (в пересчете на метр работающей длины ножа) составляет 2000 Н/м.
- 3) Определите усилие резания, момент и частоту вращения заготовки в начале и конце работы, а также мощность привода. Скорость резания составляет 1.5 м/с.
- 4) Определите выход материала (м<sup>2</sup>) с одной заготовки.

#### ***Решение:***

1) Так как толщина заготовки, а следовательно, реза не менее 20 радиусов, то минимальный радиус равен  $R_{min} = 20\delta = 20 \cdot 0.003 = 0.06$  м, а диаметр, соответственно 0.12 м.

2) Ширина реза равна ширине заготовки и составляет 1.8 м. Суммарное усилие резания равно

$$F_{рез} = H \cdot K = 1.8 \cdot 2000 = 3600 \text{ Н.}$$

Момент резания определяется текущим диаметром заготовки  $M = F_{рез} \frac{D}{2}$ .

В начале и конце работы момент составляет 1080 Н·м и 216 Н·м соответственно.

3) Скорость реза связана с угловой скоростью как  $v = \omega \cdot R = 2\pi n \frac{D}{2}$ , откуда

$$\text{частота вращения } n = \frac{v}{\pi D}$$

Частота вращения в начале и конце обработки составляет  $0.796 \text{ с}^{-1}$  и  $3.98 \text{ с}^{-1}$  соответственно.

Мощность привода равна произведению угловой скорости на момент

$$N = 2\pi n M$$

и составляет 5.4 кВт независимо от стадии обработки.

Суммарная площадь заготовки может быть определена из объема материала:

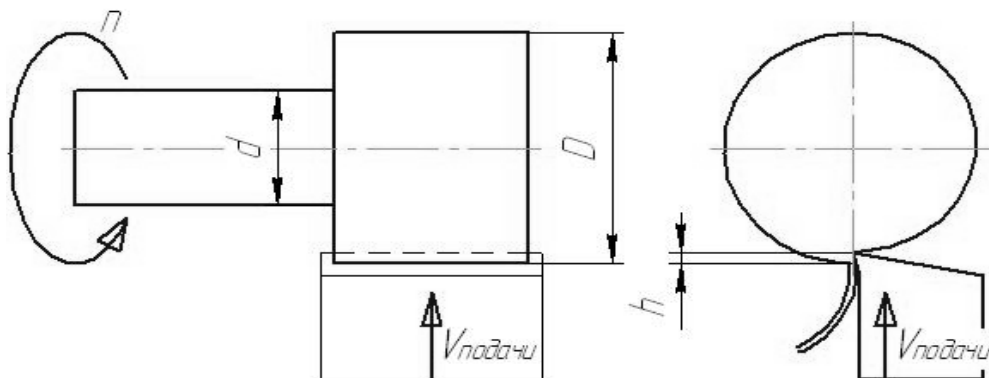
$$\delta S = \frac{H \pi (D^2 - d^2)}{4}, \text{ откуда}$$

$$S = \frac{H \pi (D^2 - d^2)}{4\delta} = 153 \text{ м}^2.$$

#### Задача №4. Токарная обработка

##### Условие задачи:

При токарной обработке детали заготовка, закрепленная за участок меньшего диаметра  $d$ , вращается вокруг своей оси с частотой  $n$ . Участок большего диаметра  $D$  срезается резцом, подаваемым в радиальном направлении со скоростью подачи  $V_{\text{подачи}}$ , измеряемой в метрах подачи  $h$  на один оборот заготовки.



Начальный диаметр обрабатываемого участка заготовки составляет 50 мм. Скорость подачи в процессе обработки постоянна.

##### Дополнительная информация:

Усилие резания (сила, отжимающая резец от заготовки) пропорционально произведению скорости резания и скорости подачи:

$$Fr = K \cdot V_{\text{подачи}} \cdot V_{\text{резания}}$$

где  $K=10000 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^2$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств материала заготовки и геометрии резца,  $V_{\text{резания}}$  – скорость движения резца относительно поверхности заготовки.

### **Вопросы:**

- 1) Сколько времени необходимо для уменьшения диаметра обрабатываемого участка до 32 мм, если резец может выдержать усилие 400 Н, а частота вращения заготовки составляет  $300 \text{ мин}^{-1}$ .
- 2) Определите зависимость времени обработки детали от её вылета (расстояние вдоль оси от точки резания до точки закрепления заготовки), если участок малого диаметра способен выдержать изгибающий момент 40 Н·м при постоянной частоте вращения  $300 \text{ мин}^{-1}$ . Прочность резца считать бесконечно большой.

### **Решение:**

#### *Описание*

1) Если скорость подачи резца постоянна, то время стачивания диаметра определяется скоростью подачи и разницей радиусов (начального и конечного). Скорость подачи может быть определена с помощью приведенной формулы исходя из скорости реза и максимального усилия. Максимальная скорость реза определяется исходя из начального диаметра и частоты вращения (точнее – угловой скорости). Усилие – задано.

2) Фактически, вопрос сводится к определению зависимости усилия от вылета при ограниченном моменте. Усилие – исходя из максимально допустимого момента и известного плеча приложения силы. Остальное легко выводится из первой части.

#### *Формализация*

- 1) Начальная скорость резания

$$V_{\text{резания}} = 2 \cdot \pi \cdot D_0 \cdot (n / 60) = 2 \cdot \pi \cdot 0.05 \cdot (300 / 60) = 1.57 \text{ м/с.}$$

Тогда из уравнения для силы реза:

$$F_r = K \cdot V_{\text{подачи}} \cdot V_{\text{резания}}$$

$$V_{\text{подачи}} = \frac{F_r}{K \cdot V_{\text{резания}}} = \frac{40}{50000 \cdot 1.57} = 0.00051 \text{ м/с (около 0,1 мм/об).}$$

Разность радиусов детали составляет

$$dr = \frac{(D_0 - d)}{2} = \frac{(0.05 - 0.032)}{2} = 0.009 \text{ м,}$$

а время обработки:

$$t = \frac{dr}{V_{\text{подачи}}} = \frac{0.009}{0.00051} = 17.6 \text{ с.}$$

Подставим в формулу времени все необходимые формулы. Максимальное усилие определим из допустимого изгибающего момента и плеча (переменного вылета детали из патрона).

$$F_r = \frac{M_{\text{доп}}}{x}$$

Итак:

$$t = \frac{dr}{V_{\text{подачи}}} = \frac{(D_0 - d) K \cdot V_{\text{резания}}}{2 Fr} = \frac{(D_0 - d) K \cdot V_{\text{резания}}}{2 M_{\text{доп}}} \cdot x = \frac{(D_0 - d) K \cdot 2 \cdot \pi \cdot D_0 \cdot (n \cdot 60)}{2 M_{\text{доп}}} \cdot x.$$

Окончательно:

$$t = \frac{K \cdot \pi \cdot D_0 \cdot (D_0 - d) \cdot (n \cdot 60)}{M_{\text{доп}}} \cdot x = \frac{50000 \cdot \pi \cdot 0,05 \cdot (0,05 - 0,032) \cdot (300 / 60)}{4} \cdot x = 176,7 \cdot x.$$

Для заданных значений вылета 0.05 м и 0.15 м время составит 8.8 с и 26.5 с соответственно.

### 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 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, 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. Синяков. Физика. Молекулярная физика. Термодинамика. 10 кл. М.: Дрофа, 2013. 352 с.
5. Г.Я. Мякишев, А.З. Синяков. Физика. Электродинамика. 10-11 кл. М.: Дрофа, 2013. 480 с.
6. Г.Я. Мякишев, А.З. Синяков. Физика. Колебания и волны. 11 кл. М.: Дрофа, 2014. 288 с.
7. Г.Я. Мякишев, А.З. Синяков. 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](https://mcko.ru/pages/m_n_d_pre-professional_exam) (Дата обращения 01.10.2019)