

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**  
(Технологическое 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).

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 поверхностное знакомство с классическими и современными направлениями технологии машиностроения.

### 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

##### **Технологические задачи:**

- 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 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**

<b>1. Выделение физических процессов, последовательности и причинно-следственных связей</b>	
Основные баллы	
Графическое описание	
Структурирование	
Максимальное число баллов за этап	
<b>2. Формализация физических процессов</b>	
Основные баллы	
Максимальное число баллов за этап	
<b>3. Подготовка системы уравнений, алгоритма, математической модели</b>	
Основные баллы	
Преобразование системы уравнений	
Максимальное число баллов за этап	
<b>4. Проведение расчетов, получение и представление результата</b>	
Расчеты и результат	
Представление результата	
Максимальное число баллов за этап	
<b>5. Дополнительные баллы в соответствии со спецификой задачи</b>	
Максимальное число баллов за этап	
<b>Общее количество баллов</b>	
<b>Максимальная сумма баллов за задачу</b>	

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 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.

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. Намотка композита

Рассмотрим подробно реальное решение задачи, выполненное успешным школьником с примером подробного оценивания.

#### *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  $1200 \text{ кг/м}^3$ . Стеклянная ткань (плотность материала  $2500 \text{ кг/м}^3$ ) имеет толщину  $0,2 \text{ мм}$ , 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  $\text{кг/с}$ ) для производства стеклопластиковой трубы средним диаметром  $100 \text{ мм}$  с толщиной стенки  $4 \text{ мм}$ , если производительность завода составляет  $100 \text{ м/час}$ .

Каков потребный расход ткани для намотки полного слоя трубы.

2) Определите диаметры отверстий для подачи смолы и отвердителя, если избыточное давление подачи составляет  $2 \text{ атм}$ .

3) Определите массу  $1 \text{ метра}$  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).

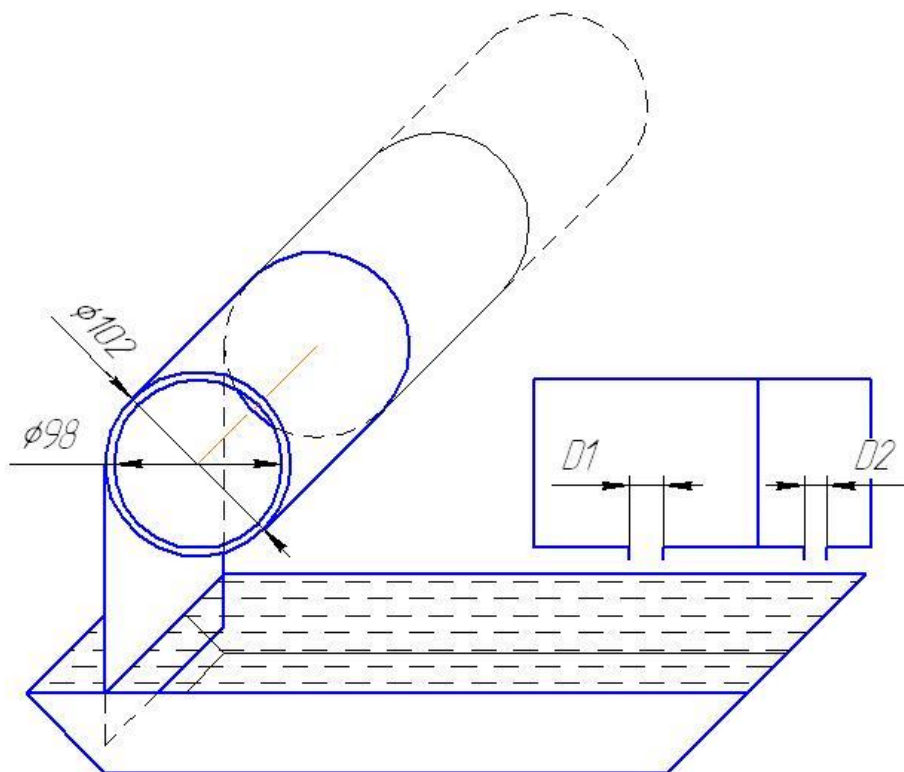
Зная производительность завода (в погонных метрах трубы за единицу времени) и площадь сечения трубы – можно определить суммарный объемный расход материала. Зная объемные доли компонентов (ткани и связующего) можно определить их объемные расходы, а зная их плотности – и массовые расходы.

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  $\text{м}^2/\text{с}$ .

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 жесткой последовательности расчетов:

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  $L/T = 100$  п. м/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

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

$$V_{\text{ткани}} = 0,2 V_s$$

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

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

$$\begin{aligned} M_{\text{ткани}} &= 0,2 \pi \frac{D^2 - d^2}{4} \cdot \frac{L}{3600} \rho_{\text{стекла}} = 0,2 \pi \frac{0,102^2 - 0,098^2}{4} \cdot \frac{100}{3600} \cdot 2500 \\ &= 0,00872 \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \end{aligned}$$

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

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

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

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

Аналогично

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

Количество слоев в ткани

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

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 0,98мм и 0,69мм 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	12	12
<b>5. Дополнительные баллы в соответствии со спецификой задачи</b>		
Максимальное число баллов за этап	6	
<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.

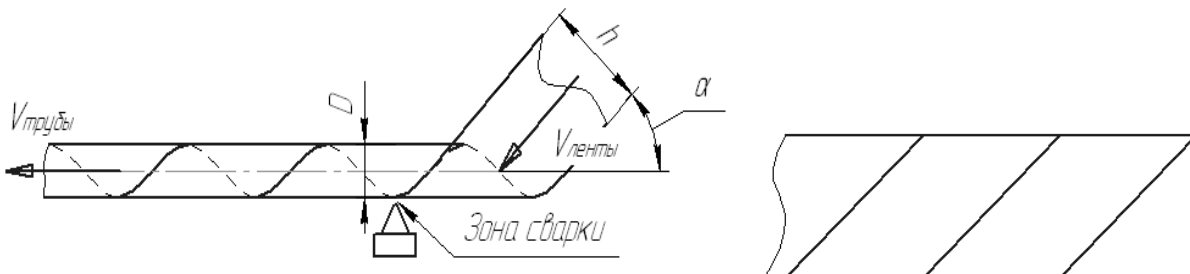
Формализация и подготовка модели, ввиду обилия мелких формул и отсутствия сложных преобразований, оцениваются совместно и одинаково. Уравнения записаны корректно, но недостаточно подробно (например, доля стекла в материале записана просто как число 0,2 – а не через соответствующий коэффициент с пояснениями). Бонусный балл введен за подробное изложение последовательности формул перед их сверткой в одну расчетную зависимость.

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

## Задача №2. Сварная труба

### Условие задачи:

Сварная труба изготавливается методом спиральной намотки стальной ленты на оправку. Оправка обеспечивает продольную подачу трубы и её вращение. Сварка обеспечивается стационарным аппаратом. Для сварки необходимо нагреть и расплавить на стыке ленты полосу металла шириной 2 мм.



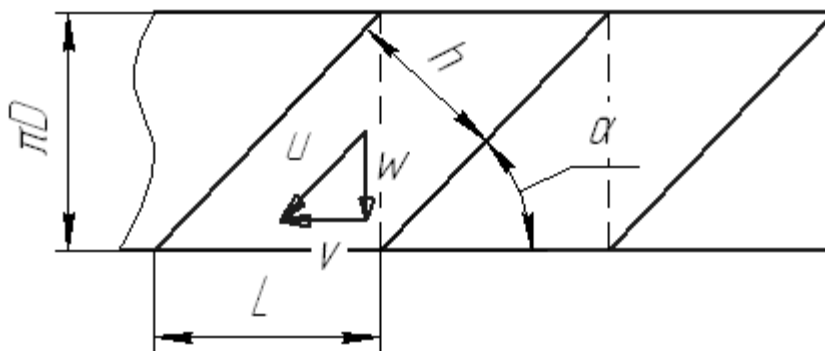
Диаметр трубы 0,2 м, ширина полосы 0,2 м, толщина металла 0,001 м, скорость выхода готовой трубы 0,1 м/с, теплоемкость стали 460 Дж/(кг·К), плотность стали 7900 кг/м<sup>3</sup>, теплота плавления стали 84 кДж/кг.

### Вопросы:

- 1) Найти угол и скорость подачи ленты, а так же частоту вращения оправки.
- 2) Определить необходимую мощность сварочного аппарата.

### Решение:

1) Лента подается на оправку таким образом, чтобы задняя кромка ленты после оборота вокруг оправки прикасалась к переднему краю нового участка ленты, подающегося на оправку. На схеме ниже представлен раскрой трубы.



Ширина продольного раскроя равна длине окружности с диаметром трубы. В этом случае угол намотки связан с шириной ленты и диаметром наматываемой трубы. Вектор скорости подачи направлен под тем же углом, под которым подается лента. Эта скорость связана с линейной скоростью подачи трубы. Частота вращения определяется скоростью поперечного движения ленты  $w$  и диаметром трубы.

2) Мощность можно оценить исходя из скорости подачи стыка к аппарату и необходимой энергии для нагрева и расплавления узкой зоны металла вдоль стыка. Можно оценить энергию, необходимую для расплавления зоны сварки длиной, равной подаче шва за одну секунду. Поскольку мощность равна расходу энергии в единицу времени – полученное значение энергии численно равно мощности.

### Формализация:

- 1) Из элементарной тригонометрии получаем искомый угол подачи ленты:

$$\alpha = \arccos \frac{h}{\pi D} = 71,44^\circ$$

Треугольник скоростей так же связан через угол подачи (а именно – скорость продольной подачи трубы и скорость подачи ленты)

$$\cos \alpha = \frac{v}{u},$$

откуда

$$u = \frac{v}{\cos \alpha} = v \frac{\pi D}{h} = 0,1 \cdot \frac{\pi \cdot 0,2}{0,2} = 0,314 \text{ м/с}$$

А окружная скорость (т.е. скорость движения по окружности оправки):

$$w = v \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

Так же эта скорость равна произведению радиуса трубы на угловую скорость оправки

$$w = \omega \frac{D}{2}$$

Отсюда найдем угловую скорость

$$\omega = \frac{2v \cdot \operatorname{tg} \alpha}{D},$$

а частота вращения равна

$$n = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{2v \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2\pi D} = \frac{0,1 \cdot \operatorname{tg}(71,44)}{\pi \cdot 0,2} = 0,474 \text{ об/с}$$

2) За 1с через сварку проходит участок шва длиной 0,314 м. Масса участка равна

$$m_{св} = l_1 \delta s \rho = 0,314 \cdot 0,001 \cdot 0,002 \cdot 7900 = 0,00496 \text{ кг.}$$

Затраты энергии составят:

$$E = m(C_p(T_{нл} - T_0) + r_{нл}) = 0,00496 \cdot (460 \cdot (1200 - 300) + 84000) = 2470 \text{ Дж.}$$

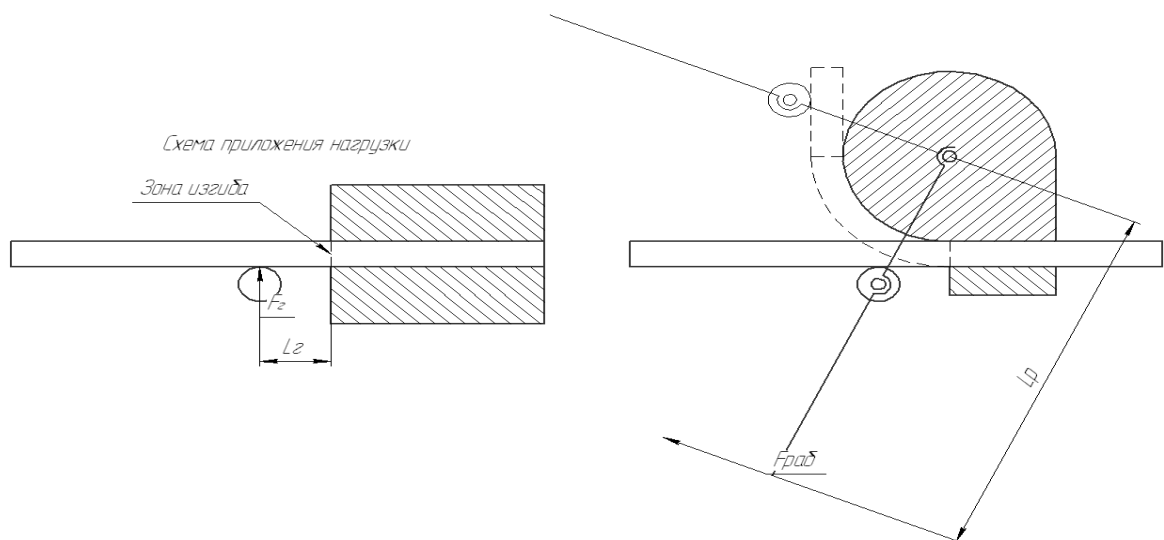
Эффективная мощность сварочного процесса:

$$N = \frac{E}{t} = 2470 \text{ Вт.}$$

### Задача №3. Гибка трубы

#### Условие задачи:

Для механизированной холодной гибки металлического проката (в основном труб) применяется ручной рычажный трубогиб, схема которого изображена на рисунке.



Для изгиба трубы необходимо приложить к ней изгибающий момент, равный произведению усилия инструмента (ролика)  $F_r$  на плечо приложения силы  $L_r$ . Так как в качестве инструмента используется ролик, касательное усилие отсутствует. Гиб профильной трубы (20 x 20 мм) начинается по достижении момента 240 Н·м, до этого момента труба, подобно пружине, изгибается упруго (возвращается в исходное состояние после снятия нагрузки). Коэффициент изгибной упругости трубы составляет 70 Н·м/°.

**Вопросы:**

1) Определить необходимое плечо рычага  $L_p$ , если рабочее усилие  $F_{раб}$  составляет 200 Н.

2) На какой угол необходимо согнуть трубу, чтобы после распрямления упругих деформаций угол сгиба составил 90°.

3) Определите затраты энергии для изгиба трубы на угол 90°.

**Решение:**

Длягиба трубы необходимо приложить к ней изгибающий момент. Согласно схеме, при повороте рычага усилиегиба  $F_r$  прикладывается на плече  $L_r$ . Поскольку плечо это равно расстоянию от точки приложения до линии, проходящей через ось поворота рычага – именно такой момент нужно создать на рычаге. Если известен момент и усилие на конце рычага – можно найти его длину.

При приложении момента до начала пластических деформаций труба гнется упруго, но на какой бы угол её не согнули – часть трубы будет согнута упруго до тех пор, пока не снимется изгибающее усилие, после чего немного распрямится. Поскольку свойства трубы при гibe почти не меняются – угол упругих деформаций не зависит от полного углагиба. Достаточно найти максимальный угол упругих деформаций и прибавить его к потребному углу – получим угол, до которого нужно согнуть трубу, чтобы получить искомые 90°.

Затраты энергии можно оценить как рабочее усилие, умноженное на длину описанной в ходегиба дуги, или как момент усилия, умноженный на угол.

Необходимый момент на рычаге равен:

$$M_{изг} = L_p F_{раб}.$$

1) Определим плечо рычага:

$$L_p = \frac{M_{изг}}{F_{раб}} = \frac{240}{200} = 1,2 \quad \text{м}$$

2) Определим максимальный угол упругой деформации. Запишем по аналогии с уравнением упругой деформации пружины:

$$\alpha_{упр} = \frac{M_{изг}}{k} = \frac{240}{70} = 3,43^\circ.$$

Для получения угла рабочий уголгиба должен достигать

$$\alpha_{max} = \alpha + \alpha_{упр} = 90^\circ + 3,43^\circ = 93,43^\circ.$$

3) Для определения расхода энергии определим длину дуги. Только для рабочего угла  $90^\circ$ , так как упругий перегиб труба нам возвращает.

$$L_{дуги} = \frac{\pi}{2} L_p = 1,885 \text{ м}$$

И энергия:

$$E = F_{раб} L_{дуги} = 200 \cdot 1,885 = 377 \text{ Дж}$$

### **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.