



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

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

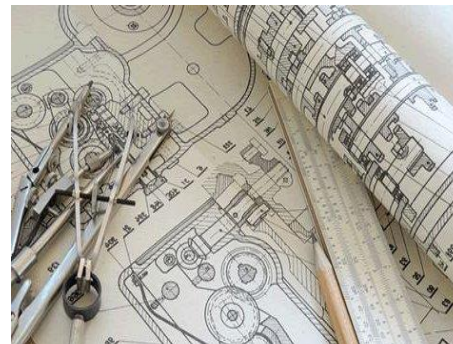
***Мастер-класс «Решение ситуационных задач практической части предпрофессионального экзамена (Исследовательские, технологические, конструкторские)»***

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

**Москва – 2018**

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

- Технологическое (инженер-технолог);
- Исследовательское (инженер-исследователь);
- Конструкторское (инженер-конструктор);
- Программирование (инженер-программист).



# Технологическое направление

---



Включает задачи, связанные с выбором параметров производственных (технологических) процессов или оборудования. Например, определение параметров обработки резаньем, потребных характеристик токарного станка, технологических условий изготовления композитных изделий и т.д.

# Исследовательское направление

---

Включает задачи, в которых требуется получение аналитической зависимости одних величин от других, характеризующей рассматриваемую конструкцию, с учетом действующих условий, Например, задачи оптимизации.

# Конструкторское направление

---



Включает задачи, направленные на определение параметров исследуемой системы или характеристик конструктивного решения, отвечающих условиям эксплуатации или обеспечивающих рациональное решение поставленной задачи. Например, запаса рабочего вещества на борту аппарата

## Направление программирование

---

Включает задачи, направленные на разработку алгоритмов численного решения поставленной задачи. Например, задачи с переменными (неизвестными) начальными условиями



- 1. Выделение основных физических процессов, их последовательности и причинно-следственных связей.** Данный пункт подразумевает оценку текстового и графического описания физических процессов.
- 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.
- 3. Составление системы уравнений, алгоритма расчета, математической модели.** Здесь корректная запись системы является приоритетной относительно упрощения и приведения к удобному виду. Оценивается умение комбинировать и преобразовывать выражения, с целью получения нужных данных.
- 4. Проведение расчетов, получение и представление результата.** Оценивание каждого вопроса задачи производится отдельно с весовым коэффициентом, равным  $(1/[\text{количество вопросов}])$ , а также добавляется бонусный балл за качество оформления или представления ответа.

# Дополнительные критерии оценивания решения задач по направлениям



## Технологические задачи:

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

## Исследовательские задачи:

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

# Дополнительные критерии оценивания решения задач по направлениям



## Конструкторские задачи:

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

# Дополнительные критерии оценивания решения задач



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.



# Критерии оценивания решения задач



Подпункт	Конструкторская	Технологическая	Исследовательская	Программирование
<b>1. Выделение физических процессов, последовательности и причинно-следственных связей</b>				
Основные баллы	9	8	10	6
Графическое описание	+3	+3	+2	+2
Структурирование	+2	+2	+2	+4
Максимальное число баллов за этап	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>12</b>
<b>2. Формализация физических процессов</b>				
Основные баллы	8	9	10	10
Максимальное число баллов за этап	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
<b>3. Подготовка системы уравнений, алгоритма, математической модели</b>				
Основные баллы	8	8	10	10
Преобразование системы уравнений	+2	+2	+3	+3
Максимальное число баллов за этап	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>13</b>
<b>4. Проведение расчетов, получение и представление результата</b>				
Расчеты и результат	9	8	5	6
Представление результата	+3	+4	+2	+3
Максимальное число баллов за этап	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
<b>5. Дополнительные баллы в соответствии со спецификой задачи</b>				
Максимальное число баллов за этап	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>Общее количество баллов</b>				
Максимальная сумма баллов за задачу	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>



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. Обратить внимание на необходимость дополнительных справочных данных.
5. Составить систему уравнений, проанализировать ее с точки зрения возможных упрощений, рациональных методов решения.
6. Решить полученную систему, произвести числовые расчеты, обратив внимание на правильное использование единиц физических величин.
7. Представить полученные результаты в соответствии с вопросами задачи.



**ЗАДАЧИ КОНСТРУКТОРСКОГО  
НАПРАВЛЕНИЯ**

# Задача 1. Условие



## Подводный самолет

Подводный самолет – аппарат с положительной плавучестью, способный погружаться при движении за счет небольших крыльев, создающих направленную вниз силу.

Аппарат имеет сухую массу 500 кг, вытесняемый объем  $0,55 \text{ м}^3$ , крылья общей площадью  $0,01 \text{ м}^2$  с коэффициентом подъемной силы  $C_y=0,5$ , а так же коэффициент гидродинамического сопротивления аппарата  $C_x=0,15$  и площадь поперечного сечения  $0,05 \text{ м}^2$ . Аппарат снабжен двумя одинаковыми симметрично расположенными двигателями.

### Вопросы

1) Определите скорость движения, необходимую для погружения аппарата, а так же потребную силу тяги одного двигателя.

2) Определите потребляемую мощность обоих двигателей, если суммарный КПД (электродвигателя с гребным винтом) равен 65%.

# Задача 1. Дополнительная информация



Подъемная сила определяется как:

$$Y = C_y S_{\text{крыла}} \frac{(\rho U^2)}{2},$$

а сила сопротивления как

$$X = C_x S_{\text{попер}} \frac{\rho U^2}{2}.$$

# Задача 1. Решение



1) На аппарат в вертикальном направлении действуют три силы: направленная вверх сила Архимеда и направленные вниз сила тяжести и погружающая сила крыльев. Запишем уравнение баланса сил:

$$\rho g V - Mg - C_y S_{\text{крыла}} \frac{\rho U^2}{2} = 0,$$

отсюда можно найти необходимую скорость движения  $U$ :

$$U = \sqrt{2g \frac{\rho V - M}{C_y S_{\text{крыла}} \rho}} = 14 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

# Задача 1. Решение (продолжение)



Мощность двигателя можно найти как произведение силы тяги на скорость движения аппарата. Поскольку аппарат должен двигаться с постоянной скоростью, сила тяги одного двигателя равна половине силы сопротивления движению аппарата. Найдем силу по указанной формуле, подставив туда найденное значение скорости:

$$X = 0,5 C_x S_{\text{попер}} \frac{\rho U^2}{2} = 0,5 \frac{C_x S_{\text{попер}}}{C_y S_{\text{крыла}}} g(\rho V - M).$$

Проделаем численный расчет:

$$X = 0,5 \cdot \frac{0,15 \cdot 0,05 \text{ м}^2}{0,5 \cdot 0,01 \text{ м}^2} 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \left( 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,55 \text{ м}^3 - 500 \text{ кг} \right) = 375 \text{ Н}.$$

# Задача 1. Решение (продолжение)



2) Эффективная мощность двигателя равна произведению потребляемой мощности двух двигателей на КПД. Следовательно

$$N_{\text{потр}} = \frac{2XU}{\eta} = \frac{2 \cdot 375 \text{ Н} \cdot 14 \frac{\text{М}}{\text{с}}}{0,65} \approx 16 \text{ кВт.}$$



A wide-angle photograph of a desolate, reddish-brown landscape. The foreground is a vast, flat plain with subtle textures and shadows. In the distance, several low, rounded mountains or hills are visible against a pale, hazy sky. The overall color palette is dominated by warm, earthy tones.

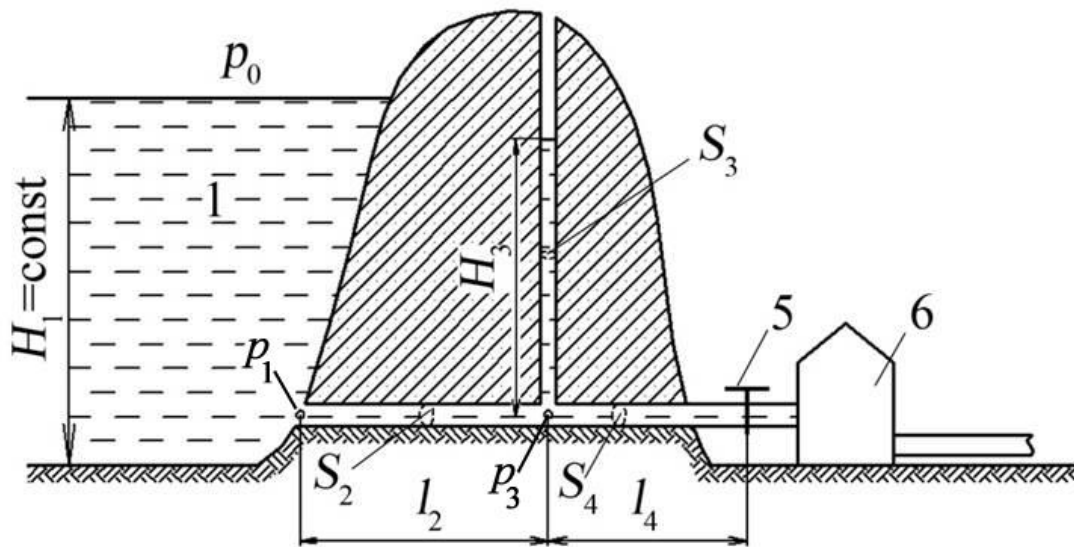
**ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО  
НАПРАВЛЕНИЯ**

# Задача 1. Условие



## Дамба

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 – уравнильный резервуар,
- 4 – трубопровод,
- 5 – запорное устройство,
- 6 – турбина.

# Задача 1. Условие (продолжение)



## 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  $250 \text{ м}^3/\text{с}$ .

# Задача 1. Дополнительная информация



Падение давления  $\Delta p$  по длине трубы определяется следующим соотношением

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

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

Для трубы круглого сечения из закона Пуазёйля гидравлическое сопротивление равно

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

где  $\eta$  – 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,  $\rho$  – плотность жидкости,  $g$  – ускорение свободного падения.

# Задача 1. Решение



1) 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

$$p_3 = p_1 - R_2 Q_2.$$

# Задача 1. Решение (продолжение)



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.

# Задача 1. Решение (продолжение)



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

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



**ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
НАПРАВЛЕНИЯ**



# Задача 1. Условие



## Литье алюминия в воду

При литье может возникать ситуация, при которой в литейной форме окажется вода. При соприкосновении с жидким металлом, масса которого намного больше массы воды, последняя исключительно быстро разогревается и испаряется, разбрасывая жидкий металл в стороны.

### Вопросы

- 1) Определите опасное количество воды в глубокой литейной форме, в которую быстро выливают 15 литров расплавленного алюминия. Опасным считается количество воды, способное запасти в газообразной форме достаточно энергии для выброса половины алюминия со скоростью 5 м/с.
- 2) Определите, насколько необходимо перегреть алюминий для компенсации данных потерь тепла.

# Задача 1. Решение



Найдем массу выбрасываемого алюминия

Зная заданный объём и плотность алюминия, находим массу:

$$\rho_A = 2,7 \frac{\text{кг}}{\text{л}}$$

$$V_A = 15 \text{ л}$$

$$M = V_A \cdot \rho_A = 2,7 \cdot 15 = 40,5 \text{ кг}$$

Поскольку по условию выбрасывается половина алюминия, то интересующая нас масса равна:

$$M_A = \frac{M}{2} = \frac{40,5}{2} = 20,25 \text{ кг}$$

Определяем кинетическую энергию выбрасываемого алюминия:

$$E_A = \frac{M_A \cdot v_A^2}{2} = \frac{20,25 \cdot 5^2}{2} = 253 \text{ Дж}$$

# Задача 1. Решение (продолжение)



Энергию алюминию для движения передаёт горячий водяной пар.

Энергия пара – это та энергия, которая была сообщена воде для её нагрева до температуры кипения, энергия необходимая для испарения воды, а также – энергия нагрева водяных паров до температуры плавления алюминия. В общем виде энергию паров можно записать следующим образом:

$$E_{\text{П}} = Q_{\text{нагр.воды}} + Q_{\text{испарения}} + Q_{\text{нагр.паров.}}$$

Энергия, которая была сообщена воде для её нагрева до температуры кипения:

$$Q_{\text{нагр.воды}} = c_B \cdot M_B \cdot (T_{\text{кип.}} - T_{\text{комн.}}),$$

где:  $c_B$  – теплоёмкость воды

$M_B$  – масса воды

$T_{\text{кип.}}$  – температура кипения воды

$T_{\text{комн.}}$  – комнатная температура (начальная температура воды)

# Задача 1. Решение (продолжение)



Энергия для испарения воды

$$Q_{\text{испарения}} = M_B \cdot r_B,$$

где  $r_B$  – теплота испарения воды.

Энергия нагрева водяных паров до температуры плавления алюминия

$$Q_{\text{нагр.паров}} = c_{\text{п}} \cdot M_B \cdot (T_A - T_{\text{кип.}}),$$

где:  $c_{\text{п}}$  – теплоёмкость водяного пара

$T_A$  – температура расплавленного алюминия

$T_{\text{кип.}}$  – температура кипения воды

# Задача 1. Решение (продолжение)



$$E_{\text{П}} = c_B \cdot M_B \cdot (T_{\text{кип.}} - T_{\text{комн.}}) + M_B \cdot r_B + c_{\text{п}} \cdot M_B \cdot (T_A - T_{\text{кип.}})$$

Из вышесказанного очевидно, что:

$$E_A = E_{\text{П}}$$

$$E_A = c_B \cdot M_B \cdot (T_{\text{кип.}} - T_{\text{комн.}}) + M_B \cdot r_B + c_{\text{п}} \cdot M_B \cdot (T_A - T_{\text{кип.}})$$

$$E_A = M_B \cdot [c_B \cdot (T_{\text{кип.}} - T_{\text{комн.}}) + r_B + c_{\text{п}} \cdot (T_A - T_{\text{кип.}})]$$

Из последней формулы выразим массу воды:

$$M_B = \frac{E_A}{c_B \cdot (T_{\text{кип.}} - T_{\text{комн.}}) + r_B + c_{\text{п}} \cdot (T_A - T_{\text{кип.}})}$$

$$M_B = \frac{253}{4200 \cdot (100 - 20) + 2260 \cdot 10^3 + 2.04 \cdot (660 - 100)}$$

$$M_B = 9.74 \cdot 10^{-5} \text{ кг}$$

$$M_B \approx 0.1 \text{ г}$$

Тепловую энергию вода берёт из алюминия

# Задача 1. Решение (продолжение)



Определим, на сколько должен быть перегрет алюминий, чтобы скомпенсировать тепло, отданное воде, без учёта повышения температуры алюминия выше температуры плавления:

Тепловые потери мы посчитали чуть ранее. Они равны  $E_{\Pi}$

Энергия, которую отдаёт алюминий, можно оценить по формуле:

$$E'_A = c_a \cdot M_A \cdot \Delta T,$$

где:  $c_a$  – теплоёмкость жидкого алюминия,

$\Delta T$  – перегрев алюминия свыше температуры плавления

$M_A$  – масса алюминия

$$E'_A = E_{\Pi}$$

$$c_a \cdot M_A \cdot \Delta T = c_B \cdot M_B \cdot (T_{\text{кип.}} - T_{\text{комн.}}) + M_B \cdot r_B + c_{\Pi} \cdot M_B \cdot (T_A - T_{\text{кип.}})$$

# Задача 1. Решение (продолжение)



Отсюда перегрев алюминия:

$$\Delta T = \frac{c_B \cdot M_B \cdot (T_{\text{кип.}} - T_{\text{комн.}}) + M_B \cdot r_B + c_{\text{п}} \cdot M_B \cdot (T_A - T_{\text{кип.}})}{c_a \cdot M_A}$$

Однако, раньше было замечено, что числитель равен  $E_A$

Поэтому перегрев можно записать как:

$$\Delta T = \frac{E_A}{c_a \cdot M_A}$$

$$\Delta T = \frac{253}{1.09 \cdot 10^3 \cdot 20.25} = 0.01 \text{ градуса}$$

## Задача 2. Условие



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.



## Задача 2. Условие (продолжение)



### 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) Определите диаметры отверстий для подачи смолы и отвердителя, если избыточное давление подачи составляет 2 атм.
- 3) Определите массу 1 метра трубы.

**Дополнительные сведения:** объёмный расход жидкости через отверстие в первом приближении может быть определён 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 ёмкости с жидкостью,  $\rho$  – плотность жидкости.

## Задача 2. Решение



### 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.

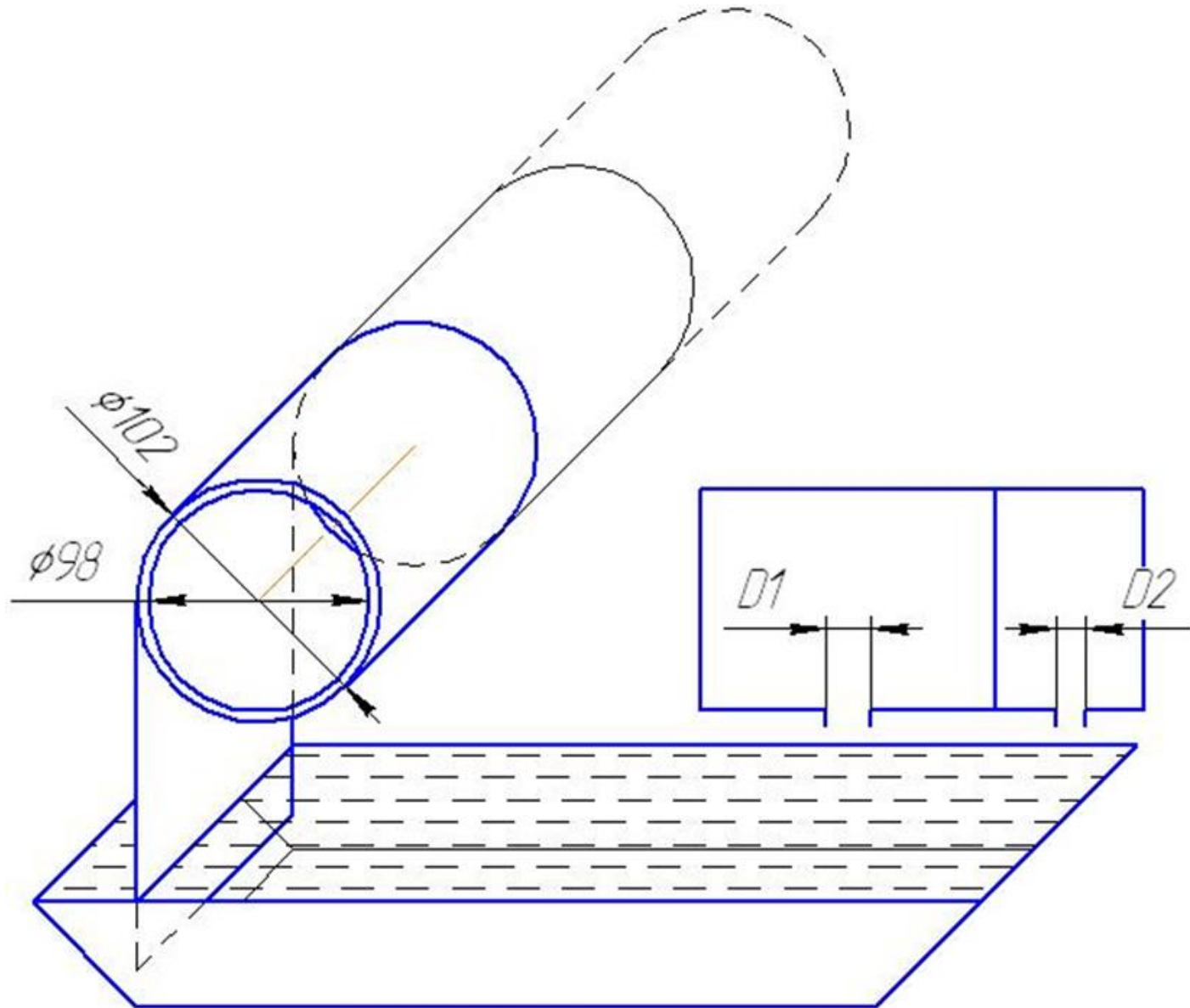
Зная толщину стенки и толщину стеклянной ткани (условно несжимаемой) можно определить количество слоев в трубе и, следовательно, необходимую площадь ткани для изготовления 1 п.м. трубы. А зная производительность завода – общий расход в  $\text{м}^2/\text{с}$ .

## Задача 2. Решение (продолжение)



- 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.
- Стекланная 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.

## Задача 2. Решение (продолжение)



## Задача 2. Решение (продолжение)



*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:

$$V_s = \frac{SL}{3600}, \quad \text{м}^3/\text{с}$$

## Задача 2. Решение (продолжение)



Объем  $l = 1$  п.м трубы составляет  $V_1 = S \cdot l$ .

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

$$V_{\text{ткани}} = 0,2V_s,$$

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

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

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:

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

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

## Задача 2. Решение (продолжение)



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:

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

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:

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

## Задача 2. Решение (продолжение)



Проведение расчетов:

### 1) Расход ткани

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

$$V_{\text{ткани}} = 0,2 V_s,$$

$$V_s = \frac{SL}{3600},$$

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

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

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

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



## Задача 2. Решение (продолжение)



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

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

Аналогично

$$M_{\text{отв}} = 0,00837$$

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

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi} \sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot \Delta p}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0000139}{\pi} \sqrt{\frac{1200}{2 \cdot 200000}}} = 0,00098$$

## Задача 2. Решение (продолжение)



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

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

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

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

Итого, полная масса 1 п.м. трубы составляет 0,917 кг.

## Задача 2. Решение (продолжение)



### Ответ:

- 1) Необходимый расход смолы составляет  $0,0167$  кг/с, отвердителя  $0,00837$  кг/с.
- 2) Необходимый диаметр отверстий подачи смолы и отвердителя составляет  $0,98$  мм и  $0,69$  мм соответственно.
- 3) 1 метр трубы имеет массу  $0,917$  кг.

## Задача 2. Решение (продолжение)



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>

**Спасибо за внимание!**