

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

**КОНКУРС
ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ УМЕНИЙ
«Предпрофессиональная мастерская инженерного и информационно-
технологического профилей»
Практический этап**

**Номинация «Академический класс»
Решение ситуационных задач по направлению «техническая физика»**

Автор

Буркова Е.Г.

Москва – 2021



Включает задачи, связанные с проектно-конструкторской деятельностью (например, работа узлов аппаратов техники с учетом сформулированных к ним требований) и производственно-технологической (например, анализ вариантов решения проблемы с использованием различных технологий и оборудования, иногда в условиях многокритериальности и неопределенности), а так же задачи, связанные с моделированием технических процессов на основе физических законов.



- 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 технологическому направлению



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

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



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

Общий алгоритм решения 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.



1. В билете **1 задача**, содержащая **2..3 вопроса**.
2. Время на решение задачи: **80 минут**.
3. Время на защиту: **5 минут** (включая ответы на вопросы).
4. Максимально количество баллов:
50 баллов (Решение) + **10 баллов** (Защита) = **60 баллов**.
5. Без защиты работа **не засчитывается**.
6. Результаты конкурса учитываются организациями высшего образования в случае, если обучающийся сдал теоретическую и практическую части экзамена.
7. Повторное прохождение этапов конкурса, а также подача и рассмотрение апелляций не предусмотрены.

Задача 1. Условие



Конденсационное осаждение

Технология получения тонкопленочного покрытия подразумевает конденсацию материала (в данном случае – алюминий) из газовой фазы на поверхности охлажденной подложки. Удельная теплота испарения/конденсации материала 9220 кДж/кг при температуре 2520 °С, удельная теплоемкость в широком диапазоне температур – 1000 Дж/(кг·К), плотность 2700 кг/м³. Алюминий наносится на поверхность полиэтиленовой пленки толщиной 10 мкм. Теплоемкость полиэтилена 1500 Дж/(кг·К), плотность 930 кг/м³.

- 1) Определите максимальную толщину алюминиевого покрытия, которое можно нанести на пленку за один заход, если выделяющаяся при конденсации алюминия и его остывании на поверхности теплота идет на нагрев пленки равномерно по всей её толщине, а максимально допустимая температура полиэтилена равна 90 °С (начальная температура 20 °С).
- 2) Оцените увеличение толщины получаемого покрытия (относительного первого слоя) при повторном напылении алюминия.

Задача 1. Решение



1) Для лучшего восприятия примем, что подложка имеет прямоугольную форму с размерами a и b . При конденсации алюминия теплота от последнего переходит в подложку, поэтому, считая, что наступило тепловое равновесие, запишем уравнение теплового баланса:

$$m_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} \cdot (T_{\text{доп}} - T_0) = m_{\text{А}} \cdot c_{\text{А}} \cdot (T_{\text{пл}} - T_{\text{доп}}) + m_{\text{А}} \cdot q_{\text{А}}$$

где $m_{\text{п}}$ – масса полиэтилена, $c_{\text{п}}$ – теплоёмкость полиэтилена, $T_{\text{доп}}$ – допустимая температура полиэтилена, T_0 – начальная температура полиэтилена, $m_{\text{А}}$ – масса осаждённого алюминия, $c_{\text{А}}$ – теплоёмкость алюминия, $T_{\text{пл}}$ – температура плавления алюминия, $q_{\text{А}}$ – теплота конденсации алюминия.

Запишем массу следующим образом:

$$m_{\text{п}} = \rho_{\text{п}} \cdot a \cdot b \cdot h_{\text{п}}$$

и

$$m_{\text{А}} = \rho_{\text{А}} \cdot a \cdot b \cdot h_{\text{А}}$$

где $\rho_{\text{п}}$ – плотность полиэтилена, $\rho_{\text{А}}$ – плотность алюминия, $h_{\text{п}}$ – толщина подложки, $h_{\text{А}}$ – толщина осаждаемого слоя алюминия, a и b – длина и ширина подложки

Задача 1. Решение (продолжение)



Тогда уравнение теплового баланса запишется в виде:

$$\rho_{\text{п}} \cdot a \cdot b \cdot h_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} \cdot (T_{\text{доп}} - T_0) = \rho_{\text{А}} \cdot a \cdot b \cdot h_{\text{А}} \cdot c_{\text{А}} \cdot (T_{\text{пл}} - T_{\text{доп}}) + \rho_{\text{А}} \cdot a \cdot b \cdot h_{\text{А}} \cdot q_{\text{А}}$$

Из этого уравнения видно, что геометрические размеры, кроме толщины, можно сократить, поэтому форма поверхности подложки не играет никакой роли. Произведём некоторые математические преобразования и выразим толщину слоя алюминия:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} \cdot (T_{\text{доп}} - T_0) &= \rho_{\text{А}} \cdot h_{\text{А}} \cdot c_{\text{А}} \cdot (T_{\text{пл}} - T_{\text{доп}}) + \rho_{\text{А}} \cdot h_{\text{А}} \cdot q_{\text{А}} \\ \rho_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} \cdot (T_{\text{доп}} - T_0) &= \rho_{\text{А}} \cdot h_{\text{А}} \cdot (c_{\text{А}} \cdot (T_{\text{пл}} - T_{\text{доп}}) + q_{\text{А}}) \\ h_{\text{А}} &= \frac{\rho_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} \cdot (T_{\text{доп}} - T_0)}{\rho_{\text{А}} \cdot (c_{\text{А}} \cdot (T_{\text{пл}} - T_{\text{доп}}) + q_{\text{А}})} \end{aligned}$$

Численно:

$$h_{\text{А}} = \frac{930 \cdot 10^{-5} \cdot 1500 \cdot (90 - 20)}{2700 \cdot (1000 \cdot (2520 - 90) + 9220 \cdot 10^3)}$$

$$h_{\text{А}} = 3,104 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 31,04 \text{ нм}$$

Задача 1. Решение (продолжение)



2) Оценим толщину повторно получаемого покрытия. Запишем снова тепловой баланс:

$$\rho_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} \cdot (T_{\text{доп}} - T_0) + \rho_{\text{А}} \cdot h_{\text{А}} \cdot c_{\text{А}} \cdot (T_{\text{доп}} - T_0) = \rho_{\text{А}} \cdot h'_{\text{А}} \cdot (c_{\text{А}} \cdot (T_{\text{пл}} - T_{\text{доп}}) + q_{\text{А}})$$

где $h'_{\text{А}}$ - толщина нового (второго) слоя алюминия, которая равна:

$$h'_{\text{А}} = \frac{\rho_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} \cdot (T_{\text{доп}} - T_0) + \rho_{\text{А}} \cdot h_{\text{А}} \cdot c_{\text{А}} \cdot (T_{\text{доп}} - T_0)}{\rho_{\text{А}} \cdot (c_{\text{А}} \cdot (T_{\text{пл}} - T_{\text{доп}}) + q_{\text{А}})}$$

Численно:

$$h'_{\text{А}} = \frac{930 \cdot 10^{-5} \cdot 1500 \cdot (90 - 20) + 2700 \cdot 3,104 \cdot 10^{-8} \cdot 1000 \cdot (90 - 20)}{2700 \cdot (1000 \cdot (2520 - 90) + 9220 \cdot 10^3)}$$

$$h'_{\text{А}} = 3,123 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 31,23 \text{ нм}$$

Относительное увеличение толщины:

$$\Delta h = \frac{h'_{\text{А}} - h_{\text{А}}}{h_{\text{А}}} \cdot 100\%$$

$$\Delta h = \frac{31,23 - 31,04}{31,04} \cdot 100\% = 0,612 \%$$



Граница космоса

Высота верхней границы атмосферы или нижней границы космоса понятие весьма условное и определяется из соображений решаемых в каждом конкретном случае задач. Например, для большинства спутников с высоты более 100 км влияние атмосферы уже пренебрежимо мало, хотя для Международной космической станции из-за большой парусности и на высоте 400 км её влияние ещё учитывается. В тоже время с точки зрения физиологии человека космос начинается уже на высоте 19 км.

1) Определить высоту верхней границы атмосферы, если в качестве границы космоса принять высоту над уровнем моря, на которой скорость горизонтального полёта летательного аппарата, необходимая для создания аэродинамической подъемной силы, равной его силе тяжести, превышает первую космическую скорость.

Задача 2. Условие (продолжение)



Дополнительная информация

Коэффициент подъемной силы аэродинамического летательного аппарата для высоких сверхзвуковых скоростей равен $C_y = 0,5$. Нагрузка на «крыло» (при таких скоростях аэродинамической поверхностью является сам корпус аппарата) – $\mu = 5000$ кг/м². Радиус Земли $R_z \cong 6400$ км.

Согласно барометрической формуле, зависимость давления воздуха p от высоты над уровнем моря H определяется соотношением:

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{MgH}{RT}\right),$$

где p_0 – давление на уровне моря, $M=29$ г/моль – молярная масса воздуха, T – абсолютная температура воздуха, $R = 8,31$ Дж/(моль · К) – универсальная газовая постоянная. Температуру воздуха будем считать постоянной и равной 250 К.

Задача 2. Условие (продолжение)



Подъемная сила определяется соотношением:

$Y = C_y S \frac{\rho v^2}{2}$, где C_y – коэффициент подъемной силы, S – площадь крыла (аэродинамической поверхности), $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха, v – скорость летательного аппарата.

Нагрузка на крыло (удельная) – отношение массы летательного аппарата к площади несущей поверхности. Выражается в кг/м^2 .

Задача 2. Решение



На самолёт в процессе аэродинамического полёта действуют следующие силы:

- тяжести
- подъемная
- аэродинамического сопротивления
- тяги двигателя

Нас интересуют вертикальные. Для установившегося полёта они должны быть равны:

$$mg = C_y S \frac{\rho v^2}{2}$$

Плотность воздуха из уравнения состояния идеального газа:

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad \text{м/с}$$

$$\rho = \frac{pM}{RT},$$

где R — универсальная газовая постоянная, M — молярная масса воздуха.

Задача 2. Решение (продолжение)



Таким образом,

$$mg = C_y S \frac{\rho M v^2}{2RT},$$

откуда

$$p = \frac{2\mu g RT}{C_y M v^2} = p_0 e^{-\frac{MgH}{RT}}.$$

Окончательно

$$H = \frac{RT}{Mg} \ln \frac{C_y v^2 M p_0}{2\mu g RT}.$$

Найдём первую космическую скорость:

$$mg = m \frac{v^2}{R_3}.$$
$$v = \sqrt{gR_3} = 7923 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

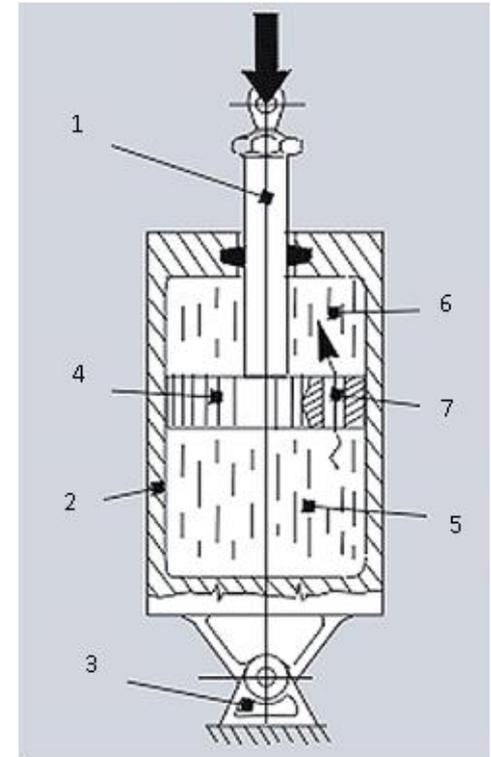
Подставив данное значение в уравнение для H , получим:

$$H = 44580 \text{ м}$$

Задача 3. Условие



Гидравлический демпфер – устройство предназначенное для гашения (ограничения) скорости движения объекта, присоединенного к штоку 1. Демпфер представляет собой гидроцилиндр 2, закрепленный на опоре 3, разделенный поршнем 4 на две заполненные жидкостью полости 5 и 6. Поршень соединен со штоком. В некотором устройстве полезная нагрузка (заслонка) передает свой вес на два вертикально установленных демпфера. Усилие передается на поршень, который, в свою очередь, создает в нижней полости демпфера давление



Задача 3. Условие (продолжение)



1) Определите установившуюся скорость u движения заслонки массой 1000 кг. Диаметр поршня $D = 100$ мм, диаметр перепускного отверстия $d = 5$ мм, давление в верхней полости принять равным нулю. Плотность жидкости $\rho = 950$ кг/м³.

2) Определите диаметр отверстия обратного клапана d_2 (на схеме не указан), обеспечивающего перепуск жидкости в рабочую полость при подъеме заслонки, если усилие подъемного привода составляет 2000 кгс, а необходимая скорость движения $u_2 = 0,25$ м/с. Обратный клапан, по сути, представляет собой систему аналогичную отверстию 7, но пропускает жидкость только в одном – обратном направлении (открывается обратным потоком жидкости).

Дополнительная информация:

1 килограмм-сила (1 кгс) — вес покоящегося на поверхности Земли тела массой 1 кг.

Задача 3. Решение



На каждый демпфер приходится 500 кгс или 4905 Н усилия.

Усилие передается на поршень, который, в свою очередь, создает в нижней полости демпфера давление

$$p = \frac{F}{S} = 624500 \text{ Па}$$

где $S = 0,00785 \text{ м}^2$ – площадь поршня.

Скорость потока жидкости через перепускное отверстие определяется уравнением Бернулли. В рамках принятых в условии допущений

$$\frac{\rho v^2}{2} = p,$$

откуда скорость потока в перепускном канале

$$v = \sqrt{\frac{2p}{\rho}} = 36,3 \text{ м/с}$$

Задача 3. Решение (продолжение)



Уравнение неразрывности:

$$u \frac{\pi}{4} D^2 = v \frac{\pi}{4} d^2$$

Отсюда скорость движения заслонки

$$u = v \left(\frac{d}{D} \right)^2 = 0,09 \text{ м/с}$$

Из описания следует, что обратный клапан открывается только во время подъема задвижки, тогда как основное перепускное отверстие открыто в обе стороны. То есть рабочая площадь отверстий при подъеме включает в себя площадь основного перепускного отверстия.

Пользуясь теми же зависимостями и учитывая, что суммарное усилие на подъем (с учетом веса самой заслонки) равно тем же 4905 Н на каждый демпфер, рабочее давление составит также 624500 Па (уменьшением площади поршня на величину площади сечения штока пренебрегаем).

Задача 3. Решение (продолжение)



Таким образом, скорость потока в перепускных отверстиях равна тем же 36,3 м/с.

Уравнение неразрывности для скорости подъема u_2

$$u_2 \frac{\pi}{4} D^2 = v \frac{\pi}{4} (d^2 + d_2^2)$$

Отсюда

$$d_2 = \sqrt{\frac{u_2}{v} D^2 - d^2} = 0,0066 \text{ м.}$$

Задача 4. 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 кг/м^3 . Стеклянная ткань (плотность материала 2500 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 4. Условие (продолжение)



Вопросы:

- 1) Каков необходимый расход компонентов связующего (в кг/с) для производства стеклопластиковой трубы средним диаметром 100 мм с толщиной стенки 2 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, Δp – избыточное давление в ёмкости с жидкостью, ρ – плотность жидкости.

Задача 4. 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.

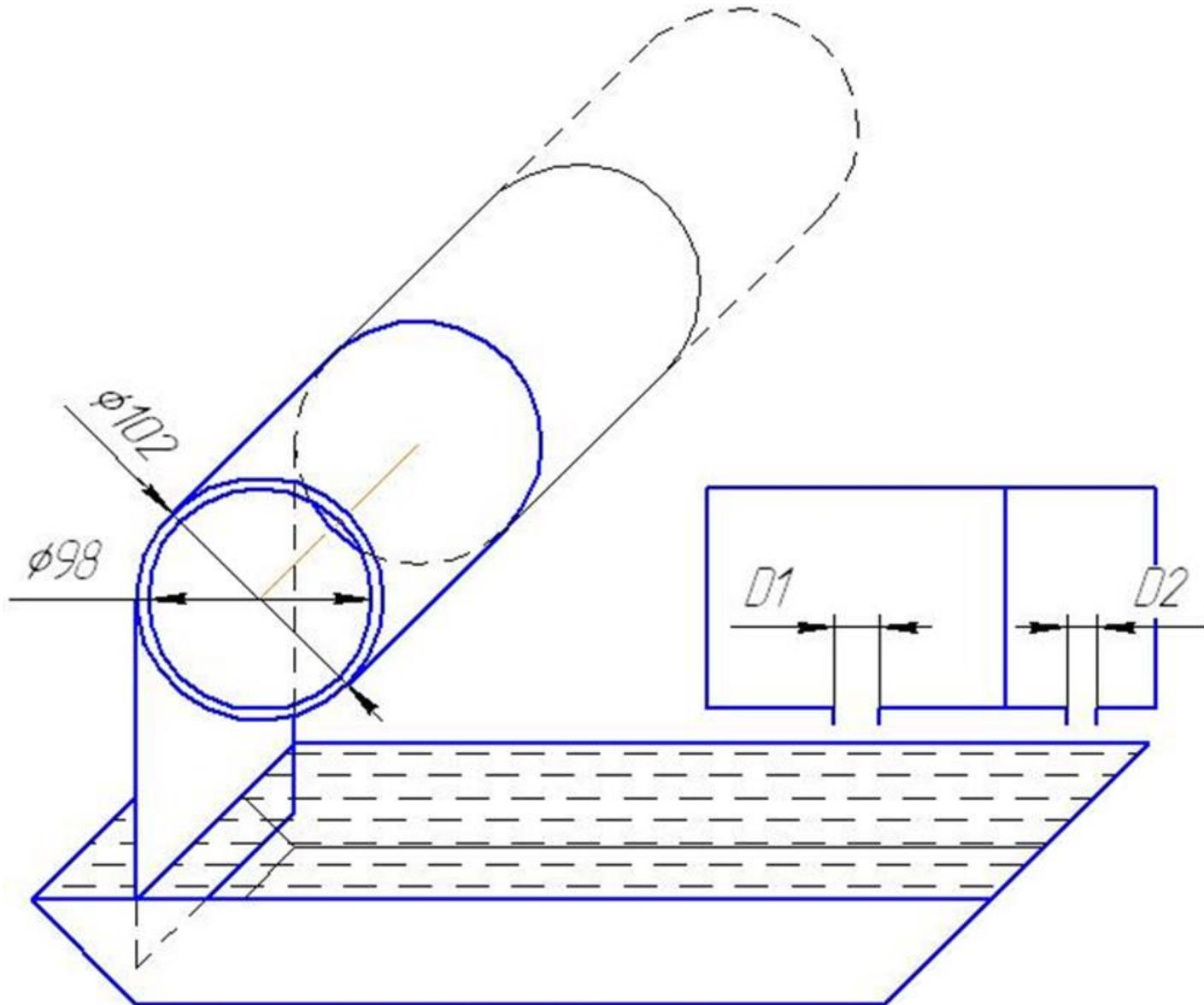
Зная толщину стенки и толщину стеклянной ткани (условно несжимаемой) можно определить количество слоев в трубе и, следовательно, необходимую площадь ткани для изготовления 1 п.м. трубы. А зная производительность завода – общий расход в $\text{м}^2/\text{с}$.

Задача 4. 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 4. Решение (продолжение)



Задача 4. 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 4. 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 4. 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 4. Решение (продолжение)



Проведение расчетов:

1) Расход ткани

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

$$V_{\text{ткани}} = 0,2 V_s,$$

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

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

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

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

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

Задача 4. 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 4. 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/м³)

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

Задача 4. 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 4. Оценивание



Подпункт	Максимальное число баллов	Оценка решения
1. Выделение физических процессов, последовательности и причинно-следственных связей		
Основные баллы	8	8
Графическое описание	+3	+1
Структурирование	+2	+1
Максимальное число баллов	13	10
2. Формализация физических процессов		
Основные баллы	9	8
Максимальное число баллов	9	8
3. Подготовка системы уравнений, алгоритма, математической модели		
Основные баллы	8	8
Математические преобразования	+2	+1
Максимальное число баллов	10	9
4. Проведение расчетов, получение и представление результата		
Расчеты и результат	8	8
Представление результата	+4	+4
Максимальное число баллов	12	12
5. Дополнительные баллы в соответствии со спецификой задачи		
Максимальное число баллов за этап	6	0
Σ Сумма баллов	50	39

Спасибо за внимание!