

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

**ПРОЕКТ
«ИНЖЕНЕРНЫЙ КЛАСС В МОСКОВСКОЙ ШКОЛЕ»**

Решение ситуационных задач по технологическому направлению

**Авторы: Буркова Е.Г., старший преподаватель кафедры «Основы физики» 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 – 2019



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.



- 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	8
Графическое описание	+3
Структурирование	+2
Максимальное число баллов за этап	13
2. Формализация физических процессов	
Основные баллы	9
Максимальное число баллов за этап	9
3. Подготовка системы уравнений, алгоритма, математической модели	
Основные баллы	8
Преобразование системы уравнений	+2
Максимальное число баллов за этап	10
4. Проведение расчетов, получение и представление результата	
Расчеты и результат	8
Представление результата	+4
Максимальное число баллов за этап	12
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**.

Задача 1. Условие



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 0,6м.

- 1) Определите конечный диаметр заготовки, если срезается слой толщиной 3мм, а относительная толщина должна быть не меньше 20 радиусов заготовки.
 - 2) Определите усилие резания и момент резания в зависимости от диаметра заготовки шириной 1,8 м, если удельное усилие резания (в пересчете на метр работающей длины ножа) составляет 2000Н/м.
 - 3) Определите частоту вращения заготовки в начале и конце работы, а также мощность привода. Скорость резания составляет 1,5 м/с.
- Определите выход материала (м^2) с одной заготовки.

Задача 1. Решение



1) Так как толщина заготовки, а следовательно, реза не менее 20 радиусов, то минимальный радиус равен

$$R_{\min} = 20\delta = 20 \cdot 0.003 = 0.06 \text{ м, а диаметр, соответственно } 0,12 \text{ м.}$$

2) Ширина реза равна ширине заготовки и составляет 1,8 м. Суммарное **усилие резания** равно

$$F_{\text{рез}} = H \cdot K = 1,8 \cdot 2000 = 3600 \text{ Н.}$$

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

В начале и конце работы момент составляет 1080 Нм и 216 Нм соответственно.

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

откуда 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.

Задача 1. Решение (продолжение)



Мощность привода равна произведению угловой скорости на момент

$$N = 2\pi nM$$

И составляет 5,4 кВт независимо от стадии обработки.

Суммарная площадь заготовки может быть определена из объема материала:

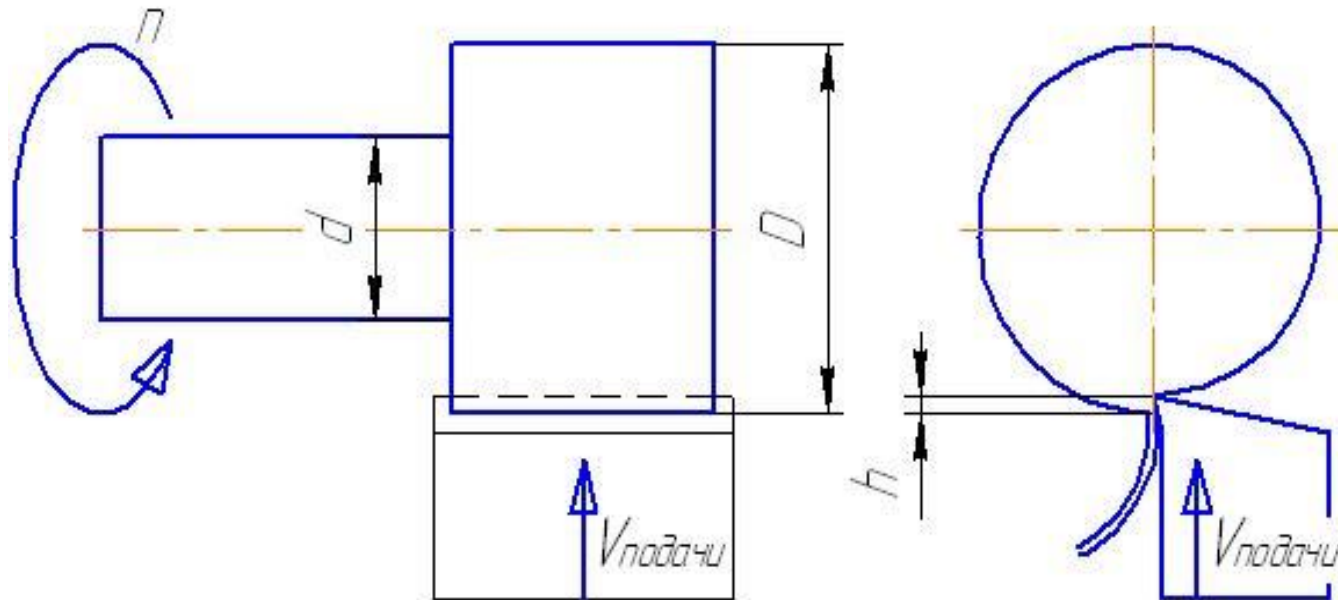
$$\delta S = \frac{H\pi(D^2 - d^2)}{4}, \text{ откуда}$$

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

Задача 2. Условие



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.

Задача 2. Условие (продолжение)



Дополнительные сведения:

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 $K=50000 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2$ – коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств материала заготовки и геометрии резца, $V_{\text{резания}}$ – скорость движения резца относительно поверхности заготовки.

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

Вопросы:

- 1) Сколько времени необходимо для уменьшения диаметра обрабатываемого участка до 32 мм, если резец может выдержать усилие 40 Н, а частота вращения заготовки составляет 300 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 мин^{-1} . Прочность резца считать бесконечно большой.

Задача 2. 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

$$V_{\text{резания}} = \pi \cdot D_0 \cdot (n/60) = \pi \cdot 0,05 \cdot (300/60) = 0,785 \quad \text{м/с}$$

Задача 2. Решение (продолжение)



Тогда из уравнения для силы реза:

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

$$V_{\text{подачи}} = \frac{F_r}{K \cdot V_{\text{резания}}} = \frac{40}{50000 \cdot 1,57} = 0,00051 \text{ м/с} \quad (\text{около } 0,1 \text{ мм/об})$$

Разность радиусов детали составляет

$$d_r = \frac{(D_0 - d)}{2} = \frac{(0,05 - 0,032)}{2} = 0,009 \text{ м}$$

А время обработки:

$$t = \frac{d_r}{V_{\text{подачи}}} = \frac{0,009}{0,00051} = 17,6 \text{ с}$$

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

$$F_r = \frac{M_{\text{дон}}}{x}$$

Задача 2. Решение (продолжение)



Итак:

$$t = \frac{d_r}{V_{\text{подачи}}} = \frac{(D_0 - d) K \cdot V_{\text{резания}}}{2 F_r} = \frac{(D_0 - d) K \cdot V_{\text{резания}}}{2 M_{\text{дон}}} \cdot x = \frac{(D_0 - d) K \cdot \pi \cdot D_0 \cdot (n \cdot 60)}{2 M_{\text{дон}}} \cdot x$$

Окончательно:

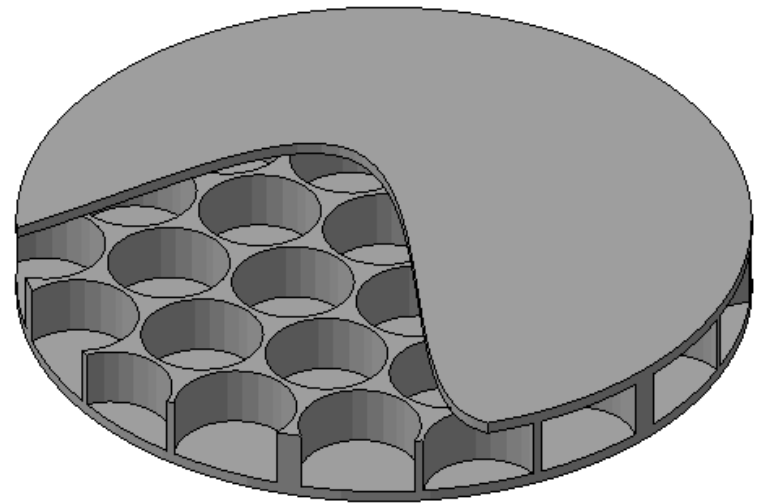
$$t = \frac{K \cdot \pi \cdot D_0 \cdot (D_0 - d) \cdot (n \cdot 60)}{2 \cdot M_{\text{дон}}} \cdot x = \frac{50000 \cdot \pi \cdot 0,05 \cdot (0,05 - 0,032) \cdot (300 / 60)}{2 \cdot 4} \cdot x = 88,35 \cdot x$$

Задача 3. Условие



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 сотовых структур, 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.



Задача 3. Условие (продолжение)



Слой стеклоткани имеет толщину 0,3 мм, армирующая ткань занимает 50% объема слоя. Связующее имеет плотность 1200 кг/м³. Пенопластовые диски имеют диаметр 30 мм, высоту 10 мм, плотность 80 кг/м³ и выкладываются с шагом 32 мм.

Вопросы:

- 1) Определить поверхностную плотность материала [кг/м²].
- 2) Определить необходимое число работников для подготовки 0,05 м²/мин среднего слоя при условии, что выкладка пенопластовых сот занимает 10 с/шт.

Задача 3. Решение



Описание

Материал состоит из трех слоев. Средняя плотность каждого определяется объемными 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 слоев.

Состав рабочей группы определяется трудозатратами на изготовление 1 м^2 каждого слоя материала.

Задача 3. Решение (продолжение)



Формализация

Средняя объемная 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.

Объемная 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:

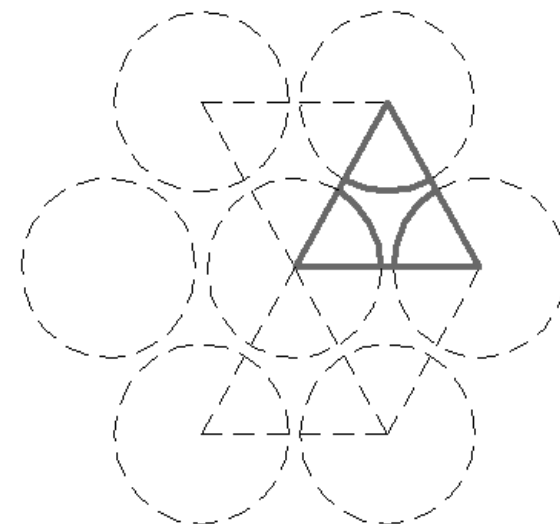
$$\rho_s = \rho \cdot \delta = 1300 \cdot 0.0003 = 0.39 \text{ кг/м}^2$$

Задача 3. Решение (продолжение)



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 32мм 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:

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

$$V_{\text{пенопласта}} = \frac{S_{\text{полуокр}}}{S_{\text{треугольн}}} = \frac{\pi \cdot D^2}{8} \cdot \frac{4}{a^2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{\pi \cdot D^2}{2 \cdot a^2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{\pi \cdot 30^2}{2 \cdot 32^2 \cdot \sqrt{3}} = 0,797$$

Задача 3. Решение (продолжение)



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

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

Задача 3. Решение (продолжение)



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 краев, 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 $v = 0.05$ м²/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 3. 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 3. 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 3. 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.

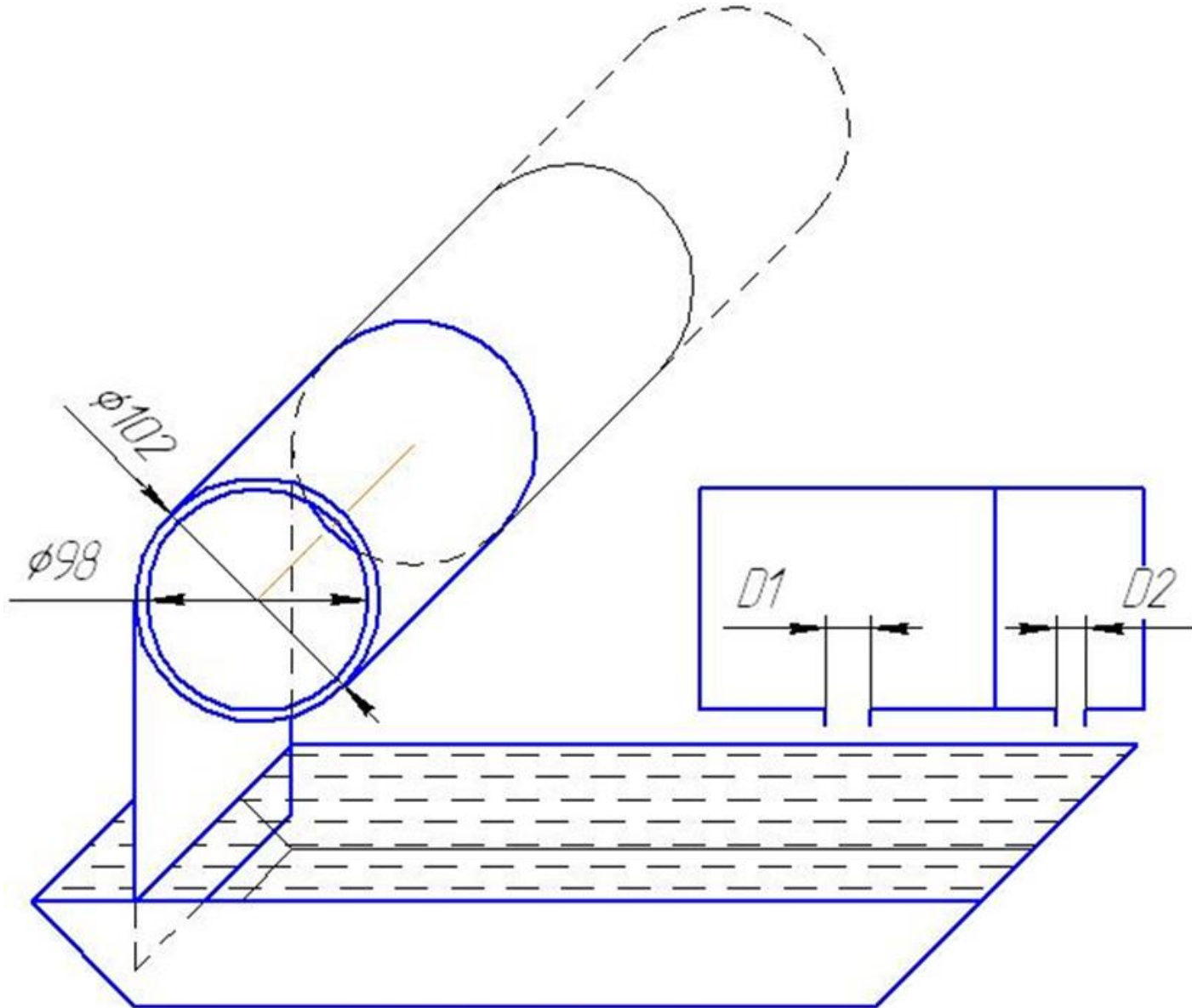
Зная толщину стенки и толщину стеклянной ткани (условно несжимаемой) можно определить количество слоев в трубе и, следовательно, необходимую площадь ткани для изготовления 1 п.м. трубы. А зная производительность завода – общий расход в $\text{м}^2/\text{с}$.

Задача 3. 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 3. Решение (продолжение)



Задача 3. 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 3. 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 3. 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 3. 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 3. 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 3. 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 3. 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 3. Решение (продолжение)



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!