

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

**Методические рекомендации для подготовки к практическому этапу  
Московского конкурса межпредметных навыков и знаний  
«Интеллектуальный мегаполис. Потенциал  
(предпрофессиональный экзамен)»  
в номинации «Инженерный класс»  
по направлению «Инженерно-техническое»**

**Москва**

**2023г.**

## Содержание

Введение.....	3
Содержание и структура варианта практического этапа .....	4
План конкурсных материалов для проведения практического этапа Конкурса.....	4
Методические рекомендации по решению заданий демоварианта кейса №3 практического этапа Конкурса .....	6
Критерии оценивания.....	10
Методические рекомендации по решения комплексных инженерных задач практического этапа Конкурса .....	11
Список литературы .....	17

## **Введение**

Данные методические рекомендации предназначены для подготовки школьников инженерных классов к участию в практическом этапе Московского конкурса межпредметных навыков и знаний «Интеллектуальный мегаполис. Потенциал (предпрофессиональный экзамен)» (далее – Конкурс) по инженерно-техническому направлению.

Практический этап Конкурса проводится в очной (предпочтительно) или дистанционной форме на базе вуза. При выполнении работы обеспечивается строгое соблюдение порядка организации и проведения Конкурса. На выполнение заданий практического этапа Конкурса отводится 90 минут.

Задания практического этапа Конкурса разработаны преподавателями образовательных организаций высшего образования, участвующих в проекте «Инженерный класс в московской школе». Материалы практического этапа предназначены для оценки уровня практической подготовки участников Конкурса.

## Содержание и структура варианта практического этапа

Индивидуальный вариант участника включает три независимых кейса, содержание которых соответствует программам элективных курсов «Инженерный практикум» и «Технологии современного производства». Каждый участник может выбрать один из трех предложенных кейсов.

Индивидуальный вариант участника, выбравшего кейс № 1, включает 3 задания, базирующихся на содержании курса «Технологии современного производства».

Индивидуальный вариант участника, выбравшего кейс № 2, включает 3 задания, базирующихся на содержании элективного курса «Технологии современного производства».

Индивидуальный вариант участника, выбравшего кейс № 3, включает 3 задания. В частности, 1 комплексную инженерную задачу, содержащую 1-2 вопроса, базирующихся на содержании элективного курса «Инженерный практикум».

### План конкурсных материалов для проведения практического этапа Конкурса

Остановимся подробно на кейсе №3 индивидуального варианта практического этапа Конкурса. Для успешного решения комплексной инженерной задачи необходимо выполнить несколько заданий, сведения о которых представлены в таблице.

№ задания	Уровень сложности	Темы элективного(ых) курса(ов)	Контролируемые требования к проверяемым умениям	Балл
1	<i>повышенный</i>	Техническая механика. Тепловые явления.	Выделение физических процессов, причинно-следственных связей	14

2.	<i>базовый</i>	Техническая механика. Тепловые явления	Формализация физических процессов	8
3.	<i>повышенный</i>	Техническая механика. Тепловые явления	Подготовка системы уравнений, алгоритма, математической модели	10
4.	<i>повышенный</i>	Техническая механика. Тепловые явления	Проведение расчетов, получение и представление результата	18
5.	<i>базовый</i>	Техническая механика. Тепловые явления	Защита	10
<b>Сумма баллов:</b>				<b>60</b>

Отличительной особенностью комплексных инженерных задач является, как правило, опора на базовые, фундаментальные физические принципы, а также необходимость выводить и облекать в математически строгую форму зависимости, не прописанные в явном виде в школьном курсе, но вытекающие с помощью логических рассуждений и математических операций из условия задачи или анализа физической картины.

Решение задач осуществляется на бумажном носителе и происходит в пять этапов. Завершающим этапом является защита решения, презентация

(представление) полученных результатов перед комиссией. Этот этап длится 5 минут и за него возможно получить максимально 10 баллов.

### **Методические рекомендации по решению заданий демоварианта кейса №3 практического этапа Конкурса**

#### **Задача: Сварка трением**

Две трубы внешним диаметром 50 мм с толщиной стенки 3 мм свариваются трением стык в стык. Для этого они раскручиваются и прижимаются друг к другу. При раскручивании трубы вращаются друг относительно друга с частотой 4020 об/мин. Сила прижатия труб друг к другу 100 Н. 50% выделяющейся тепловой мощности рассеивается, остальное идет на нагрев металла. Коэффициент трения равен 0,3.

Рассчитайте время прижатия деталей для обеспечения расплавления общего слоя материала толщиной 1 мм. В какой точке будет приложена сила трения в данном процессе (ответ обоснуйте)?

Постройте график зависимости времени сварки от угловой частоты вращения труб друг относительно друга. Целесообразно ли увеличение частоты вращения для того, чтобы существенно сократить время сварки?

Плотность стали  $7900 \text{ кг/м}^3$ , удельная теплоемкость стали  $500 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ , удельная теплота плавления  $84000 \text{ Дж/кг}$ , температура плавления  $1400^\circ\text{C}$ , начальная температура  $20^\circ\text{C}$ .

#### ***Решение:***

Определение времени сварки, то есть времени прижатия деталей.

Полезная работа сил трения за время сварки – есть тепло  $Q$ , переданное металлу.

Определим это кол-во теплоты, оно складывается из теплоты, необходимой для плавления и нагревания металла:

$$Q = Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{пл}},$$
$$Q = c_M \cdot M \cdot (T_{\text{пл}} - T_0) + \lambda_M \cdot M,$$

где:

$Q_{\text{нагр}}$  – теплота, необходимая для нагрева металла от комнатной температуры до температуры плавления,

$Q_{\text{пл}}$  – теплота плавления металла,

$c_M$  – удельная теплоёмкость металла,

$T_{\text{пл}}$  – температура плавления металла,

$T_0$  – начальная температура труб,

$\lambda_M$  – теплота плавления металла.

Определяем массу расплавляемого металла:

$$M = V_M \cdot \rho_M,$$

где  $\rho_M$  – плотность материала труб (сталь).

Исходя из заданной глубины плавления  $l$ , определяем объём:

$$V_M = l \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - (D - 2 \cdot h)^2).$$

Учитывая, что площадь контакта двух труб:

$$S_{\text{к}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2),$$

где  $d$  – внутренний диаметр труб, который может быть посчитан как:

$$d = D - 2 \cdot h.$$

Исходя из этого:

$$S_{\text{к}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - (D - 2 \cdot h)^2),$$

$$Q = c_M \cdot V_M \cdot \rho_M \cdot (T_{\text{пл}} - T_0) + \lambda_M \cdot V_M \cdot \rho_M,$$

$$Q = V_M \cdot \rho_M \cdot [c_M \cdot (T_{\text{пл}} - T_0) + \lambda_M],$$

$$Q = l \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - (D - 2 \cdot h)^2) \cdot \rho_M \cdot [c_M \cdot (T_{\text{пл}} - T_0) + \lambda_M].$$

Полезная работа сил трения определяется из формулы для мощности:

$$N_{\Pi} = \frac{A_{\text{тр}}}{t_{\text{св}}} \rightarrow A_{\text{тр}} = N_{\Pi} \cdot t_{\text{св}}$$

$$A_{\text{тр}} = Q$$

$$Q = N_{\Pi} \cdot t_{\text{св}}$$

Исходя из этого, можем определить время сварки:

$$t_{\text{св}} = \frac{Q}{N_{\Pi}}.$$

Для определения полезной мощности  $N_{\Pi}$  найдём полную мощность.

Силы трения совершают работу, равную:

$$A = F_{\text{тр}} \cdot S,$$

где  $S$  – перемещение.

Мощность определяется как:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F_{\text{тр}} \cdot S}{t} = F_{\text{тр}} \cdot V,$$

где  $V$  – скорость точки, в которой действует сила трения.

Ввиду малости толщины стенок труб, можно принять, что сила трения приложена к точкам, расположенным на среднем диаметре трубы, то есть на диаметре, равном:  $D_{\text{ср}}$ , где  $D_{\text{ср}} = D - h$ . Тогда расстояние этих точек от оси трубы равно  $D_{\text{ср}}/2$ . Линейная скорость относительного движения двух поверхностей будет определяться умножением угловой скорости на радиус, равный  $D_{\text{ср}}/2$ .

Эта скорость может быть определена как:

$$V = \omega \cdot \frac{D_{\text{ср}}}{2}.$$

Тогда выражение для полной мощности запишется в виде:

$$N = \frac{F_{\text{тр}} \cdot \omega \cdot D_{\text{ср}}}{2}$$

Поскольку часть мощности рассеивается в количестве 50%, то полезная мощность равна:

$$N_{\Pi} = \frac{F_{\text{тр}} \cdot \omega \cdot D_{\text{ср}}}{4}.$$



Найдем силу трения между трубами и угловую частоту вращения труб:

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot F,$$

$$F_{\text{тр}} = 0.3 \cdot 100 = 30 \text{ Н},$$

$$\omega = 2\pi \cdot \nu,$$

$$\nu = \frac{n}{60} = \frac{4020}{60} = 67 \text{ Гц},$$

$$\omega = 2\pi \cdot 67 = 420.76 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

где:  $\omega$  – угловая скорость относительного вращения труб,

$\nu$  – частота вращения труб (Гц),

$n$  – частота вращения труб (об/мин).

Определяем средний диаметр трубы:

$$D_{\text{ср}} = D - h = 50 - 3 = 47 \text{ мм} = 0.047 \text{ м},$$

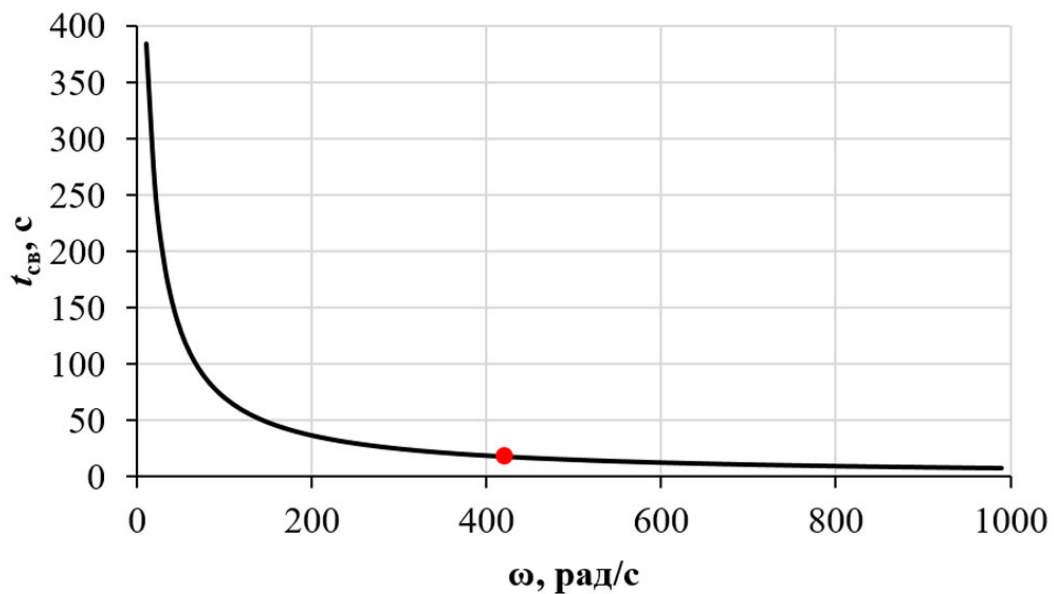
где  $D$  – внешний диаметр,  $h$  толщина трубы.

Тогда

$$t_{\text{св}} = \frac{l \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - (D - 2 \cdot h)^2) \cdot \rho_M \cdot [c_M \cdot (T_{\text{пл}} - T_0) + \lambda_M]}{\frac{F_{\text{тр}} \cdot \omega \cdot D_{\text{ср}}}{4}}$$

$$t_{\text{св}} = 18.3 \text{ с}$$

Построим график зависимости  $t_{\text{св}}(\omega)$ :



Анализируя график, можно сказать, что дальнейшее увеличение частоты вращения не будет эффективным, так как время сварки будет сокращаться совсем незначительно.

**Ответ:** Время прижатия деталей  $t_{св} = 18,3$  с.

### **Критерии оценивания**

Решение комплексной инженерной задачи включает в себя несколько этапов. Их верное последовательное выполнение приведет к успешному решению. Каждый этап оценивается определенным количеством баллов. Все сведения представлены в таблице.

<b>1. Выделение физических процессов, последовательности и причинно-следственных связей</b>	
Основные баллы	<b>9</b>
Графическое описание	+3
Структурирование	+2
Максимальное число баллов за этап	<b>14</b>
<b>2. Формализация физических процессов</b>	
Максимальное число баллов за этап	<b>8</b>
<b>3. Подготовка системы уравнений, алгоритма, математической модели</b>	
Основные баллы	8
Преобразование системы уравнений	+2
Максимальное число баллов за этап	<b>10</b>
<b>4. Проведение расчетов, получение и представление результата</b>	
Расчеты и результат	9
Представление результата	+3
Максимальное число баллов за этап	<b>12</b>

<b>5. Дополнительные баллы в соответствии со спецификой задачи</b>	
Максимальное число баллов за этап	<b>6</b>
<b>Общее количество баллов</b>	
Максимальная сумма баллов за задачу	<b>50</b>

Под графическим описанием понимается рисунок, график или схема (или существенное дополнение и расширение имеющейся в условии графической информации), которые отражают процессы, описанные в задаче.

Структурирование подразумевает логическую последовательность всех шагов решения, когда каждый последующий шаг четко вытекает из предыдущего.

Представление результата подразумевает четкий ответ на поставленный вопрос, его запись с необходимой точностью и единицами физических величин, также анализ достоверности полученного результата.

Дополнительные баллы в соответствии со спецификой задачи выставляются в том случае, если из решения следует, что работа механизма и его схема поняты правильно.

Защита подразумевает развернутое пояснение логики и хода решения задачи. В ходе защиты также комиссией могут быть заданы дополнительные вопросы, связанные с особенностями работы механизма, нюансами представленного решения. Максимальная оценка составляет 10 баллов в зависимости от полноты и качества пояснений, а также ответов на вопросы комиссии.

Таким образом, максимальная сумма за комплекс «Решение + защита» составляет 60 баллов.

### **Методические рекомендации по решению комплексных инженерных задач практического этапа Конкурса**

Опираясь на приведенные выше критерии оценивания, можно выделить систему шагов, важных элементов решения, следование которым будет

способствовать получению максимального балла за практический этап Конкурса при выборе кейса №3.

В первую очередь, 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 школьникам законы физики в несколько измененных, иногда непривычных, условиях. Важное значение имеет математическая подготовка обучающихся, ведь далее необходимо построить математическую модель, соответствующую конкретным условиям функционирования системы, получить систему уравнений, возможно, применить некоторые упрощения. На заключительном этапе проводятся математические преобразования, решение полученной системы, численные расчеты и оценка реальности полученного результата. Решение необходимо сопровождать пояснениями, описанием и обоснованием принятых допущений. В рассуждениях следует придерживаться логической последовательности, что тоже оценивается определенным количеством баллов.

Для лучшего понимания предложенной системы шагов опишем ее этапы более детально.

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. Возможно, дополнить имеющуюся схему или рисунок недостающими элементами, показать направление течения жидкости в механизме, направление вращения или движение отдельных частей и т.д. При

построении графиков нужно уделить внимание выбору оптимального масштаба по каждой оси, чтобы картина была наглядной и позволяла провести анализ зависимости величин, описывающих технические или технологические процессы.

3. Формализовать задачу, т.е. сформулировать вводимые при решении задачи допущения, привести необходимые для ее решения базовые физические соотношения (формулы).

4. Составить систему уравнений (математическую модель), решить ее, получить аналитические соотношения для искомых величин.

5. Произвести числовые расчеты, проверив соответствие единиц измерения физических величин.

6. Представить полученные результаты в соответствии с вопросами задачи. При этом важно обратить внимание на заданную в задаче точность конечного ответа.

Рассмотрим пример решения еще одной комплексной инженерной задачи.

### **Задача: Теплоизолирующий контейнер**

Емкость кубической формы (сторона куба 4 метра) с пенопластовой теплоизоляцией полностью заполнена водяным льдом при температуре  $0^{\circ}\text{C}$  (такую же температуру имеет внутренняя поверхность теплоизоляции). Плотность льда составляет  $917 \text{ кг/м}^3$ , а его теплота плавления равна  $330 \text{ кДж/кг}$ . Теплопроводность пенопласта  $0.4 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , средняя температура окружающей среды (и внешней поверхности теплоизоляции) равна  $15^{\circ}\text{C}$ .

Найти толщину теплоизоляции, обеспечивающей сохранение 30% льда в твердой форме в течение 90 суток. Ответ выразите в метрах и округлите до сотых долей.

***Дополнительная информация:***

Для оценки плотности теплового потока  $q$  [Вт/м<sup>2</sup>] через стенку (количества энергии, проходящей через единицу площади поверхности стенки в единицу времени) используется следующая формула:

$$q = \lambda \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{\delta},$$

где  $\lambda$  – теплопроводность материала стенки, Вт/(м·К);

$T_1$  и  $T_2$  – температура внутренней и наружной поверхности стенки, К;

$\delta$  – толщина стенки, м.

Тепловой поток направлен со стороны стенки с большей температурой в сторону стенки с меньшей температурой.

**Решение:**

Время плавления льда определяется поступающей в контейнер тепловой мощностью и теплотой плавления льда.

Тепловая мощность равна произведению плотности теплового потока на площадь поверхности:

$$N = q \cdot S.$$

Плотность теплового потока

$$q = \frac{\lambda(T_2 - T_1)}{\delta} = \frac{0.4(15 - 0)}{\delta} = \frac{6}{\delta} \text{ Вт/м}^2.$$

Площадь поверхности емкости

$$S = 6a^2 = 6 \cdot 4^2 = 96 \text{ м}^2.$$

Тогда тепловая мощность

$$N = \left(\frac{6}{\delta}\right) \cdot 96 = \frac{576}{\delta} \text{ Вт.}$$

Затраты энергии на плавление

$$E = m \cdot r_{пл} = 0.7 \cdot \rho \cdot V \cdot r_{пл} = 0.7 \cdot 917 \cdot a^3 \cdot 330000 = 0.7 \cdot 917 \cdot 4^3 \cdot 330000 = 13556928000 \text{ Дж.}$$

Произведение мощности на время равно затратам энергии:

$$N \cdot t = E.$$

Время плавления – 90 суток:

$$t = 90 \cdot 24 \cdot 3600 = 7776000 \text{ с.}$$

Тогда из формулы

$$E = N \cdot t,$$

записанной с использованием числовых значений,

$$7776000 \cdot 576 / \delta = 13556928000 ,$$

найдем в итоге толщину стенки  $\delta$

$$\delta = 0.33 \text{ м.}$$

**Ответ:** толщина теплоизоляции  $\delta=0.33$  м.

### **Возможные ошибки при решении задач практического этапа**

При решении комплексных инженерных задач практического этапа Конкурса обучающиеся могут допускать следующие характерные ошибки:

- невнимательно прочтено или неправильно понято условие задачи, не учтены указанные в условии ограничения и дополнительные условия, найдены не те величины (даны ответы на вопросы, отличные от тех, что были сформулированы в задаче);
- неправильно понята физика процесса, как следствие в модели не учтены или неправильно учтены факторы, оказывающие определяющее влияние на ход решения и, соответственно, на искомые значения;
- допущены ошибки в выделении физических процессов или в записи физических законов;
- отсутствует (там, где это необходимо) графическая иллюстрация задачи, в результате чего складывается неправильное представление о

- последовательности этапов прохождения процесса или о структуре и работе системы (изделия, установки, станка и т.д.);
- не проведён анализ полученных результатов в следствие чего получены значения, абсурдные с технической или физической точки зрения;
  - не приведены в соответствие друг другу единицы физических и технических величин (в задачах часто приводятся единицы, непривычные для школьников, например, погонный метр за 1 секунду);
  - учтено избыточное количество данных, в результате чего, записаны лишние (либо линейно зависимые, либо не оказывающие влияния на решение) соотношения;
  - полученный ответ записан с неверным количеством знаков либо допущены ошибки в округлении.

Для успешного решения подобных задач необходимо рассматривать технические процессы и ситуации, описанные в задаче, целиком, анализируя все составляющие и оценивая реалистичность полученных результатов, используя знания школьного курса физики, математики, соответствующих элективных курсов и технический кругозор.

Отдельное внимание хочется обратить на построение графиков и анализ графической информации. Если в задании требуется построить график зависимости одних величин от других, то особое внимание стоит уделить выбору удобного масштаба и единиц измерения по каждой оси, в итоге должен получиться рисунок, позволяющий анализировать технологический процесс или работу технического устройства в целом.



## Список литературы

1. Грачев А. В., Погожев В. А., Салецкий А. М., Боков П. Ю. Физика, 10 кл. - М.: "Вентана-Граф", 2018 г.
2. Грачев А. В., Погожев В. А., Салецкий А. М., Боков П. Ю. Физика, 11 кл. - М.: "Вентана-Граф", 2018 г.
3. Мякишев Г.Я. и др. Физика. Механика. 10 кл. - М.: Дрофа, 2013. – 512 с.
4. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика. Молекулярная физика. Термодинамика. 10 кл. - М.: Дрофа, 2013. – 352 с.
5. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика. Электродинамика. 10 – 11 кл. - М.: Дрофа, 2013. – 480 с.
6. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика. Колебания и волны. 11 кл. - М.: Дрофа, 2014. – 288 с.
7. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика. Оптика. Квантовая физика. 11 кл. - М.: Дрофа, 2014. – 480 с.
8. Физика. Учебное пособие для 10 класса школ и классов с углубленным изучением физики/ Ю.И. Дик, О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов и др.; Под ред. А.А. Пинского. М.: «Дрофа», 2007.
9. Бутиков Е.И., Кондратьев А.С. Физика. Т.т. 1 – 3. – М. – С-П.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.
10. Белолипецкий С.Н., Еркович О.С., Казаковцева В.А., Цветинская Т.С. Задачник по физике. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.
11. Низамов И.М. Задачи по физике с техническим содержанием. – М.: Просвещение, 2001. – 112 с.
12. <https://im.mcko.ru/mo.php>