



Задания заключительного этапа (финал)
Всероссийской олимпиады студентов «Я – профессионал»
по направлению «Вооружение и военная техника»

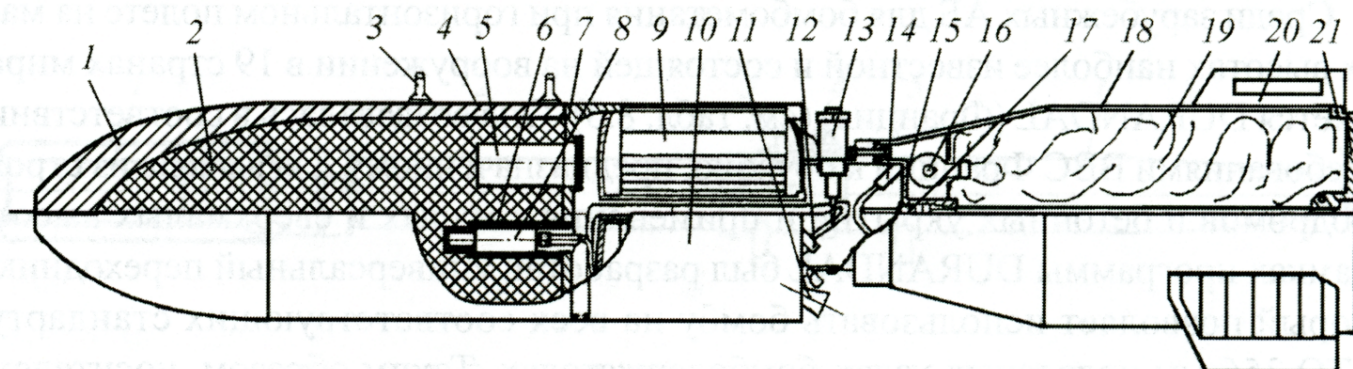
Категория участия «Магистратура/специалитет»

Задание 1 (30 баллов)

На рисунке представлено упрощенное изображение бетонобойной штурмовой авиабомбы.

Для каждого из 21 отмеченных элементов напишите его название и назначение.

Опишите последовательность функционирования бомбы с момента отделения от самолета. При описании последовательности функционирования нужно приводить числовые ссылки на элементы на рисунке.





Решение 1

Элементы изделия:

- 1 – головка (головная часть корпуса); корпус предназначен для соединения всех частей изделия, головная часть толстостенная для повышения пробивного действия;
- 2 - заряд взрывчатого вещества (ВВ); предназначен для детонации после проникания бомбы в преграду и создания разрушений материалов преграды;
- 3 - подвесные ушки; предназначены для крепления бомбы к носителю;
- 4 - центральная часть корпуса; корпус предназначен для соединения всех частей изделия;
- 5 - компенсирующая полость; предназначена для выхода взрывчатого состава при интенсивном расширении снаряжения при нагреве из-за обтекания потоком воздуха при внешнем креплении к носителю;
- 6 - стакан; предназначен для формирования полости для установки взрывателя;
- 7 - дно; предназначено для соединения корпусов боевой части и реактивного двигателя;
- 8 - взрыватель; предназначен для инициирования заряда ВВ;
- 9 - топливо; предназначено для создания газового потока при сгорании;
- 10 – корпус реактивного двигателя; предназначен для соединения всех частей реактивного двигателя;
- 11 - сопло; предназначено для истечения продуктов горения топлива, в результате чего возникает реактивная тяга;
- 12 - пиропатрон запуска реактивного двигателя; инициирует горения топлива реактивного двигателя;
- 13 - электропиротехническое устройство (часть взрывательного устройства), соединено с носителем, инициирует работу пиротехнических устройств авиабомбы после отделения от носителя;
- 14 - устройство отделения парашюта; предназначено для отделения парашюта;
- 15 - дно контейнера; предназначен для обеспечения сплошности парашютного блока;
- 16 - ось; предназначена для крепления парашюта;
- 17 - пиропатрон отстрела крышки контейнера; предназначен для отстрела крышки контейнера;
- 18- контейнер; предназначен для соединения всех частей парашютного отдела;
- 19 - парашют; предназначен для интенсивного торможения бомбы и ее нормализация по отношению к горизонтальной поверхности преграды;
- 20- перо стабилизатора; предназначено для стабилизации движения конструкции при свободном падении;
- 21 - крышка контейнера; обеспечивает сплошность конструкции, сбрасывается при выбросе парашюта.



Последовательность функционирования:

- 1) При отделении бомбы от самолета запускается работа электромеханического устройства.
- 2) С помощью пиропатрона происходит отделение крышки контейнера (21).
- 3) Раскрывается парашют (19). в результате чего осуществляется интенсивное торможение бомбы и ее нормализация по отношению к горизонтальной поверхности преграды.
- 4) Срабатывает устройство отделения парашюта (14).
- 5) Срабатывает пиропатрон запуска реактивного двигателя (12) и запускается реактивный двигатель.
- 6) Топливо (9) при сгорании создает газовый поток, выходящий через сопла (11) и создающий реактивную тягу. Бомба приобретает дополнительную скорость, что позволяет ей пробивать железобетонную преграду.

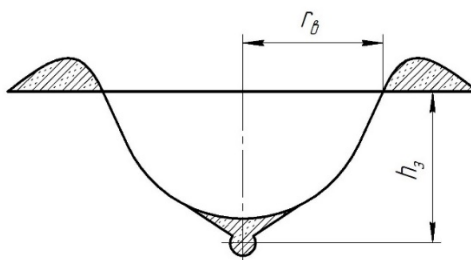
Критерии оценки 1

№	Формулировка	Баллы
1	Верно описано предназначение одного элемента конструкции	1 ($\sum 21$)
2	Верно описана последовательность функционирования элементов (за каждый отсутствующий этап функционирования вычитается 1.5 балла)	9



Задание 2 (20 баллов)

После промаха по цели снаряд проник в грунт на глубину $h_3 = 3$ м и сработал, оставив воронку радиусом $r_g = 4$ м. Определить массу эквивалентного сосредоточенного сферического заряда тротила $m_{\text{эс}}$, способного создать такую воронку. Грунт считать несжимаемым, параметр разрушения грунта A принять равным 0,4. Ответ округлить до первого знака после запятой.



Приложение к задаче №2.

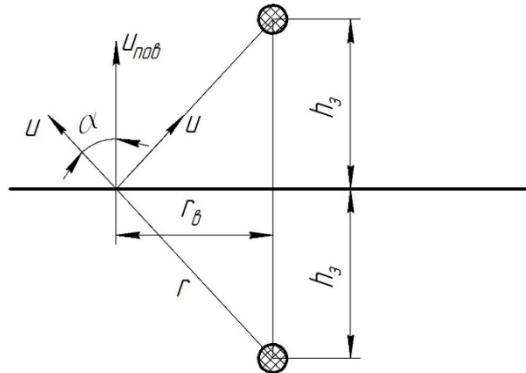
1. $A = \frac{4}{3} \pi \rho_0 \left(\frac{u_{\text{кр}}}{u_n} \right)^{\frac{3}{2}}$ параметр разрушения грунта

2. $\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{2u}{r} = 0,$ одномерное уравнение неразрывности для несжимаемой среды в случае рассмотрения сферического заряда или, после интегрирования $ur^2 = f(t).$



Решение 2

Из гидродинамики известно, что течение несжимаемой жидкости, заполняющей полупространство, под действием источника, удаленного от свободной поверхности на расстояние h_3 , происходит так же, как и движение жидкости, заполняющей все пространство, если в ней размещены симметрично линии свободной поверхности на расстоянии $2h_3$ друг от друга такие же по интенсивности источник и сток.



Таким образом, массовая скорость на свободной поверхности $u_{нов}$ выражается как

$$u_{нов} = 2u \cos \alpha = 2u h_3 / r.$$

В приложении указано одномерное уравнение неразрывности для несжимаемой среды в случае рассмотрения сферического заряда, имеющее следующий вид

$$\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{2u}{r} = 0,$$

или, после интегрирования

$$ur^2 = f(t).$$

В начальный момент времени $u = u_n, r = r_0$, следовательно

$$u = u_n \left(\frac{r_0}{r} \right)^2.$$

Таким образом, выражение для $u_{нов}$ принимает вид

$$u_{нов} = 2u_n \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \frac{h_3}{r}.$$



Поскольку граница зоны разрушения соответствует поверхности равенства массовой скорости в среде критическому значению, имеем $u_{нов} = u_{кр}$ и $r = \sqrt{r_0^2 + h_3^2}$, или, используя показатель действия взрыва $n_6 = r_0/h_3$

$$r = h_3 \sqrt{n_6^2 + 1}$$

Отсюда получим выражение для $u_{кр}$

$$u_{кр} = 2u_n \left(\frac{r_0}{h_3} \right)^2 \frac{1}{(n_6^2 + 1)^{3/2}},$$

и выразим из него r_0

$$r_0 = h_3 \sqrt{2^{1/2} \cdot \frac{u_{кр}}{u_n} \left(\frac{n_6^2 + 1}{2} \right)^{3/2}}$$

Воспользовавшись данным выражением, получим массу заряда m_{66}

$$m_{66} = \frac{4}{3} \pi \rho_0 r_0^3 = \frac{4}{3} \pi \rho_0 h_3^3 \left[2^{1/2} \cdot \frac{u_{кр}}{u_n} \left(\frac{n_6^2 + 1}{2} \right)^{3/2} \right]^{3/2} = 2^{3/4} \left[\frac{4}{3} \pi \rho_0 \left(\frac{u_{кр}}{u_n} \right)^{3/2} \right] \left(\frac{n_6^2 + 1}{2} \right)^{9/4} h_3^3.$$

В приложении указана зависимость $A = \frac{4}{3} \pi \rho_0 \left(\frac{u_{кр}}{u_n} \right)^{3/2}$ для определения константы,

учитывающей прочностные свойства среды и характеристики взрывчатого вещества, определяющейся экспериментально.

Таким образом, окончательно имеем зависимость для массы эквивалентного сферического заряда тротила

$$m_{66} = 2^{3/4} A \left(\frac{n_6^2 + 1}{2} \right)^{9/4} h_3^3.$$

Подставляя данные из условия задачи получим

$$m_{66} = 2^{3/4} \cdot 0,4 \cdot \left(\frac{(4/3)^2 + 1}{2} \right)^{9/4} 3^3 = 38,0 \text{ кг}$$

Критерии оценки 2

Критерий	Баллы
----------	-------



Применена гидродинамическая теория (есть рисунок или его словесное описание)	5
Дано описание поверхности разрушения, исходя из энергетического критерия	5
Правильно использована формула из приложения	8
Верный ответ в числовом выражении	2



Задача 3 (20 баллов)

При испытаниях для отработки составной части вооружения необходимо нагрузить объект испытаний импульсом трапецеидальной формы. Перегрузка $N = 100$ ед. должна действовать на объект испытания массой $M = 8$ кг в течении $t = 0,01$ с. Для реализации данного импульса предложена схема устройства для формирования импульса, принципиальная схема которого показана на рисунке 1.

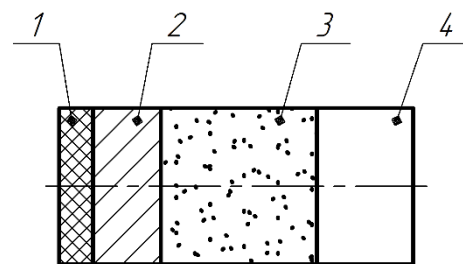


Рис. 1. Принципиальная схема устройства для формирования импульса: 1 – заряд взрывчатого вещества; 2 – ударник; 3 – амортизатор удара; 4 – объект испытаний

Диаметр такой сборки $d = 200$ мм. В качестве амортизатора удара используем пенополистирол, его массой в расчетах можем пренебречь. Экспериментально показано, что изменение предела прочности σ_1 и предельной деформации ε_2 в зависимости от плотности пенополистирола ρ_0 хорошо описываются степенными зависимостями

$$\sigma_1 = k_1 \rho_0^{b_1},$$

$$\varepsilon_2 = e^{-3,8 \cdot 10^{-3} \rho_0},$$

где $k_1 = 125$ Па; $b_1 = 1,97$.

Для разгона ударника массой $m = 8$ кг используем промышленное взрывчатое вещество Аммонит № 6ЖВ – порошок ГОСТ 21984-76. Скорость детонации $D = 4$ км/с. Импульс взрыва от заряда массой m_{BV} можно рассчитать по выражению

$$I = 0,29 m_{BV} D.$$

Изобразите диаграмму деформирования пенополистирола.

Найдите:

- скорость объекта испытания после нагружения импульсом;
- необходимую толщину амортизатора;
- необходимую плотность пенополистирола;
- необходимую массу заряда.

Предложите более простой или экономичный способ получения такого нагружения.

Решение 3



Характерные диаграммы деформирования пенополистирола показаны на рисунке. Важно показать упругий участок, длительный участок уплотнения и резкое увеличение нагрузки при полном уплотнении.

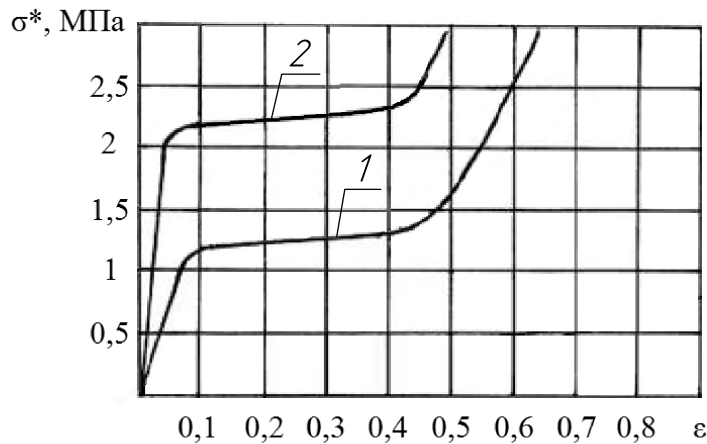


Рисунок. Диаграммы деформирования пенополистирола:
 1 – ПС-1 (100 кг/м³); 2 – ПС-1 (120 кг/м³);

Нагружающий импульс, близкий по форме к трапецидальному, формируется, если амортизатор сжимается в пределах области постоянного давления, т.е. усилия сжатия амортизатора F также постоянно и его можно определить как $F = NgM$, где N – перегрузка объекта испытаний; g – ускорение свободного падения; M – масса объекта испытаний.

Получим $F = 7848$ Н. Эта сила должна реализовываться при сжатии амортизатора площадью сечения S в пределах области постоянного давления, тогда

$$F = \sigma_1 \cdot S = \sigma_1 \cdot \pi d^2 / 4,$$

$$\sigma_1 = \frac{4F}{\pi d^2} = \frac{4NgM}{\pi d^2} = 0,25 \text{ МПа.}$$

Определим плотность и предельную деформацию ϵ_2 такого пенополистирола

$$\rho_0 = b_1 \sqrt{\frac{\sigma_1}{k_1}} = 47 \text{ кг/м}^3; \quad \epsilon_2 = e^{-3,8 \cdot 10^{-3} \rho_0} = 0,84.$$

Закон сохранения энергии в этом случае будет иметь вид (массой амортизатора пренебрегаем)

$$\frac{I^2}{2M} = F\Delta h + \frac{(m + M)U^2}{2},$$

где I – полный импульс сообщаемый взрывом ударнику; Δh – уменьшение высоты амортизатора; U – скорость объекта испытаний после нагружения импульсом длительностью t , т.е. $U = Ngt$.

Получим $U = 9,81$ м/с.

С учетом этого и законом сохранения импульса можно записать



$$I = (m + M)Ngt.$$

Получим $I = 157 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

Тогда для уменьшения высоты амортизатора можно записать выражение

$$\Delta h = \frac{Ngt^2}{2} \left(1 + \frac{M}{m} \right).$$

Получим $\Delta h = 0,0981 \text{ м}$. Найдем потребную высоту амортизатора из выражения

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta h}{h_0}.$$

Получаем минимальную высоту амортизатора

$$h_0 = \frac{\Delta h}{\varepsilon_2} = 0,12 \text{ м}.$$

Из конструктивных соображений можем принять высоту 150, 200 мм.

Для определения необходимой массы заряда ВВ $m_{ВВ}$ можно воспользоваться известным соотношением

$$I = 0,29m_{ВВ}D,$$
$$m_{ВВ} = \frac{I}{0,29D} = \frac{(m + M)Ngt}{0,29D} = 0,077 \text{ кг},$$

где D – скорость детонации.

Объем заряда ВВ может быть значительно уменьшен при размещении сборки в глухой трубе. Это позволит более эффективно реализовать энергию взрыва.

Критерии оценки 3

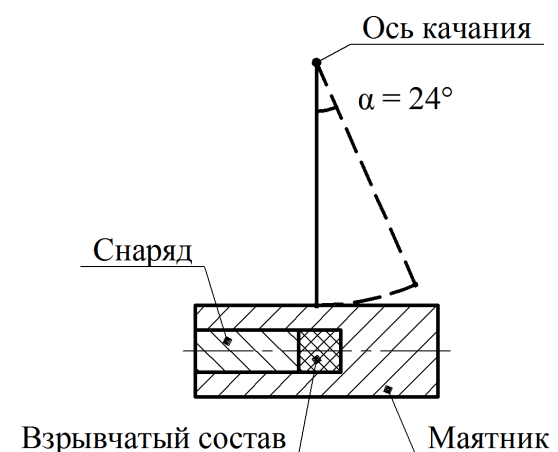
№	Формулировка	Баллы
1	Приведена верная диаграмма деформирования	3
2	Получена скорость объекта испытаний	3
3	Получено выражение для расчета толщины амортизатора	3
4	Получена необходимая плотность амортизатора	3
5	Приведена расчетная масса заряда	3
6	Предложен другой способ получения такого нагружения	5



Задание 4 (20 баллов)

Проводятся испытания нового взрывчатого состава на работоспособность в баллистическом маятнике-мортире. Расстояние от оси качания до центра масс маятника 1,4 м. Маятник массой 264 кг имеет камеру, в которую запрессовано 13 г взрывчатого состава, закрытого специальным снарядом массой 10 кг. При взрыве состава, снаряд выбрасывается, а маятник отклоняется на угол 24° . Считать нить нерастяжимой. Деформации камеры отсутствуют.

Определите работу (в Джоулях), произведенную продуктами взрыва. Решение снабдите подробными пояснениями.





Решение 4

Обозначения m_1 – масса маятника, m_2 – масса снаряда, l – расстояние от оси качания до центра масс маятника, α – угол отклонения мортиры.

Работа отклонения маятника

$$A_1 = m_1gh = m_1gl(1 - \cos \alpha),$$

где h – высота подъема центра масс маятника-мортиры.

Кинетическая энергия снаряда

$$E_2 = \frac{m_2V_2^2}{2},$$

где V_2 – скорость снаряда.

Из закона сохранения количества движения

$$m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 = 0, \quad V_2 = \frac{m_1}{m_2}V_1,$$

где V_1 – скорость маятника.

С учетом равенства кинетической энергии маятника в начале движения и работы отклонения маятника получим

$$\frac{m_1V_1^2}{2} = m_1gl(1 - \cos \alpha), \quad V_1 = \sqrt{2l(1 - \cos \alpha)}.$$

Тогда кинетическая энергия снаряда запишется

$$E_2 = \frac{m_1^2}{m_2}gl(1 - \cos \alpha).$$

Суммарная работа, произведенная продуктами взрыва

$$A = A_1 + E_2 = m_1gl(1 - \cos \alpha) + \frac{m_1^2}{m_2}gl(1 - \cos \alpha) = m_1gl(1 - \cos \alpha) \cdot \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right).$$

После подстановки значений получим 8580 Дж.

Критерии оценки 4

№	Формулировка	Баллы
1	Получено правильное выражение для работы отклонения маятника	6 баллов
2	Получено правильное выражение для работы метания снаряда	6 баллов
3	Получено правильное выражение для суммарной работы	6 баллов
4	Дан правильный ответ в числовом выражении	2 балла

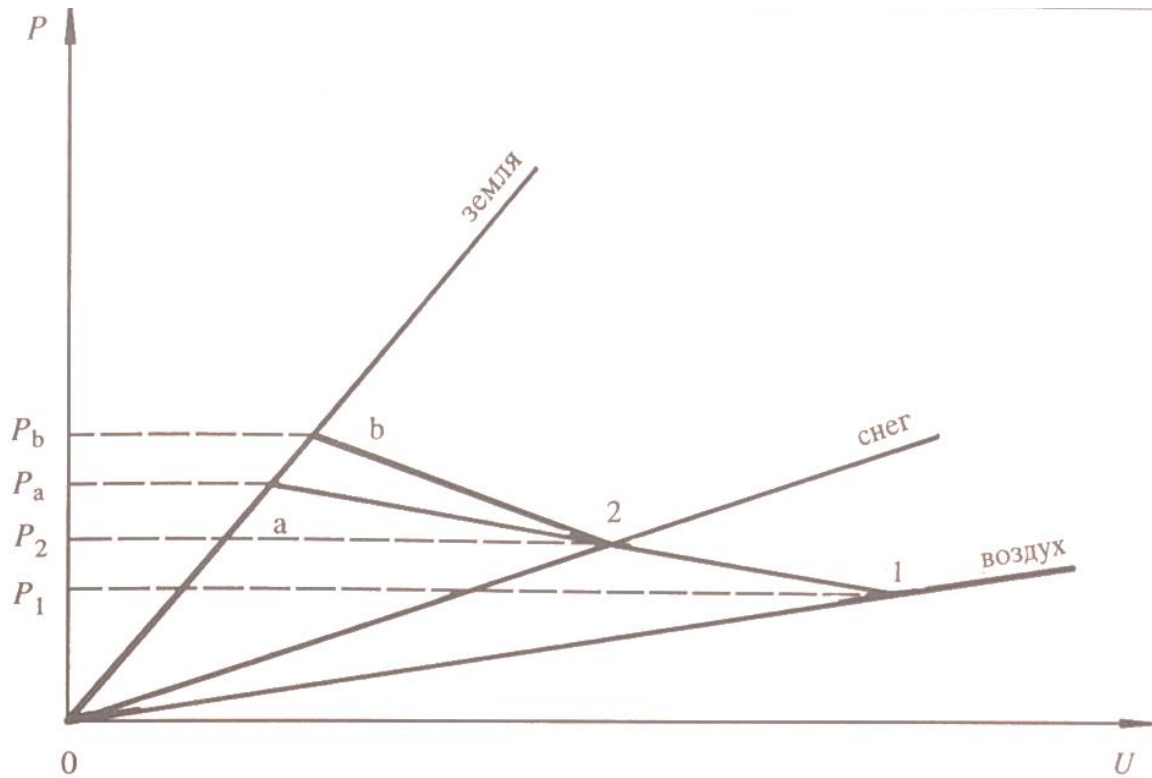


Задание 5 (10 баллов)

Ударная волна с амплитудой P_1 распространяется по воздуху и отражается от поверхности земли. Фронт волны в воздухе параллелен земле. Каким образом изменится давление в земле в зависимости от времени года: летом земля открыта, зимой земля покрыта слоем снега? Постройте диаграмму в координатах $P-U$, отметьте характерные точки и дайте словесное пояснение выводу. Используйте акустическое приближение.



Решение 5



Считаем очевидным, что акустическая жесткость (произведение плотности на скорость звука) земли больше снега, а снега больше воздуха. При отражении волны от чистой земли реализуется давление P_a (ударная адиабата вторичного нагружения воздуха симметрична адиабате первичного нагружения).

При отражении волны от снега распространяется ударная волна с давлением P_2 . При определении давления отражения этой волны от земли считаем, что ударная адиабата вторичного нагружения снега 2-б симметрична адиабате первичного нагружения относительно вертикали, проходящей через точку 2. При отражении волны от земли, покрытой снегом, реализуется давление P_b .

Получаем P_b больше P_a , таким образом в данном приближении давление в земле летом будет меньше, чем зимой.

Критерии оценки 5

№	Формулировка	Баллы
1	Правильно построена $P-U$ диаграмма	5 баллов
2	Дан правильный ответ с пояснениями	5 баллов