

Всё изложенное мной дальше по этой ветке форума (**Заглушка разёма в раме. Фальсифицированная ушка.**) представляет собой краткий курс погружения в одно из направлений увлекательного лабиринта теоретической физики взрыва, представленного в двух источниках, книге «Физика взрыва» / Ф.А. Баум, К.П. Станюкович, Б.И. Шехтер. - М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959 (1), а также во втором томе монографии «Физика взрыва» / под ред. Л.П. Орленко. (в составе авторов которой присутствуют и авторитетнейшие советские авторы первой книги) - изд. 3-е, испр. - В 2 т. Т.2 - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004 (2). В принципе, содержание этих книг, практически, одинаковое для этой конкретной ситуации, но есть и некоторые нюансы, которые касаются рассматриваемой мной темы, представленные только в одной из них, или наоборот, в другой.

Небольшое пояснение. В принципе, я бы мог приводить конечные инженерные формулы и результаты вычисления по ним, той, или иной, размерности, в зависимости от конкретного параметра. Однако мне больше по духу, всё же, предоставлять пытливым оппонентам возможность с наименьшими усилиями верифицировать использованные теоретические подходы, самостоятельно с ними ознакомившись, а также проверить полученные количественные результаты. Если кому-то это делать в лом, или «я и так, на коленке всё просчитаю», нет проблем, проходите мимо.

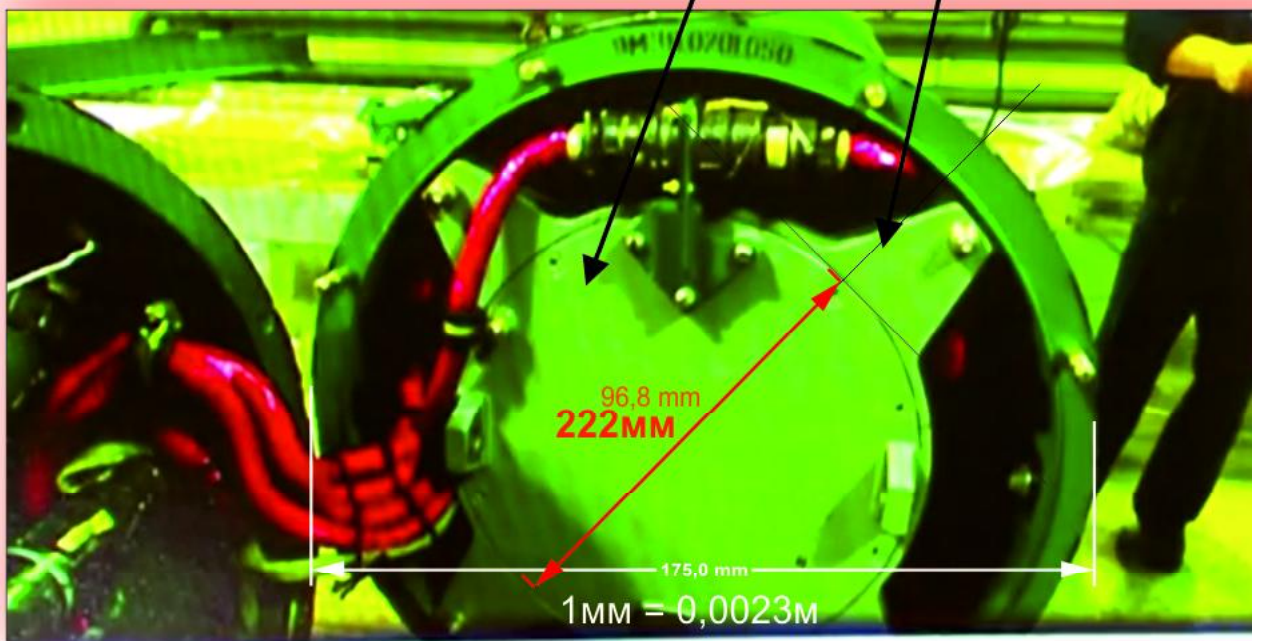
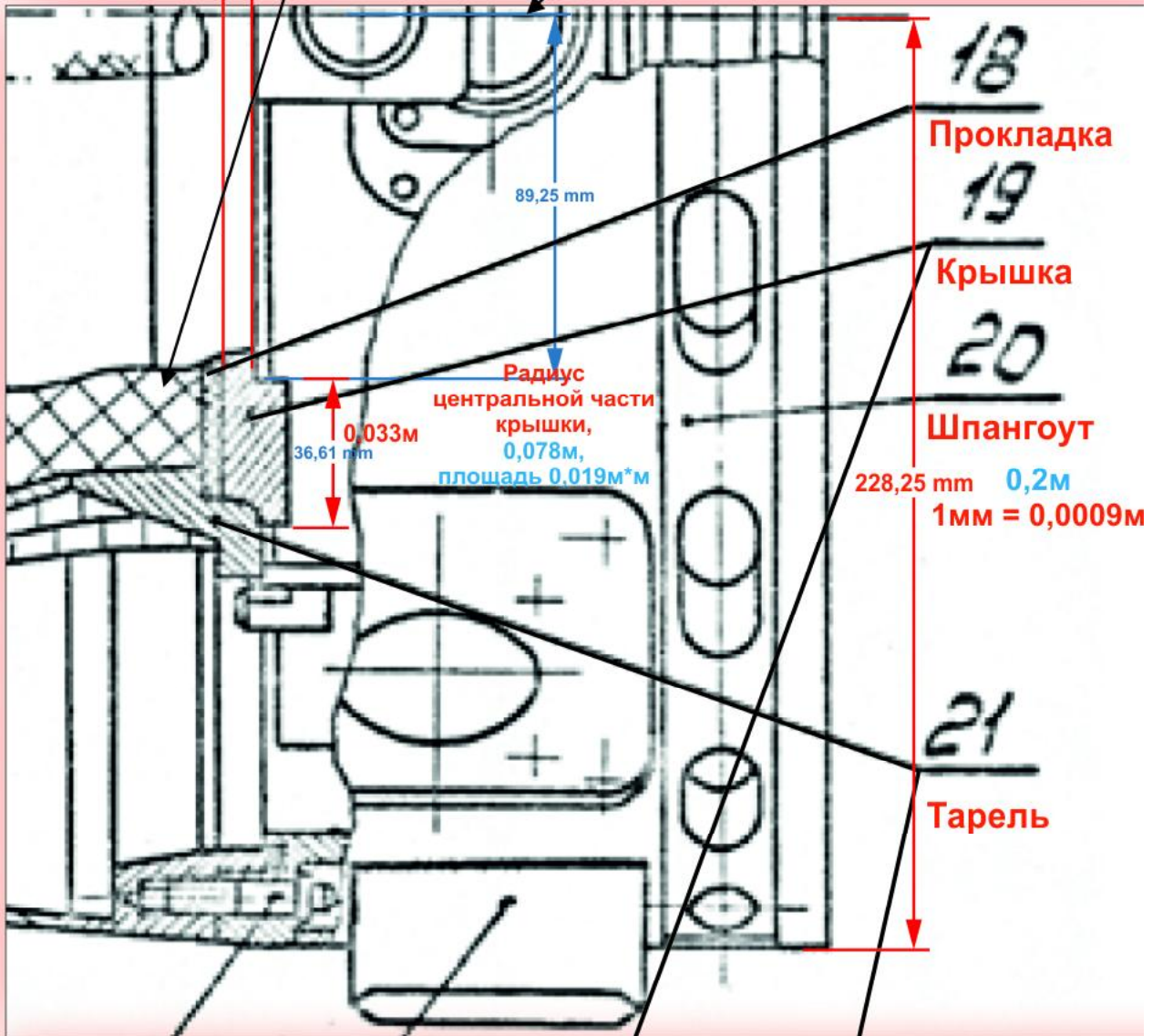
Итак, речь пойдёт о частном ответвлении физики взрыва, а конкретно, о бризантном воздействии детонационной волны, а также следующих за ней взрывных газов (**ДВ и ВГ**) на тела, окаймляющие заряд ВВ, в частности на торцевую конструкцию БЧ, в сторону которой распространяется детонация. В нашем конкретном случае она представлена тарелью, крайним элементом оболочки БЧ, и алюминиевой крышкой БЧ, закреплённой на ней винтами. Сама же тарель имеет четыре ушка с отверстиями, через которые, с помощью четырёх винтов, она крепится к опливам отсека ракеты под номером №2. Мои графические расчёты (см. под спойлером, масштаб выбран с учётом диаметра двигательного отсека, равного **400мм**) с использованием двух источников показали, что диаметр алюминиевой крышки составляет 222 мм, а её толщина равна 6мм.

Скрытый текст

Толщина
крышки 0,006м
7,06 mm

БЧ

Ось ракеты



Изначально, требуется оценить, какое максимальное количество движения передаётся цилиндрическому телу, состоящему из двух отсеков ракеты Бука под номерами №3 и №4, при подрыве ВВ БЧ. Поэтому, для решения этого вопроса на первичном этапе исследования, идеально подходит математическая модель расчёта импульса при отражении ДВ от недеформируемой стенки (см. картинку под спойлером).

Скрытый текст

§ 57. Импульс при отражении детонационной волны от стенки

Теоретический расчет импульса при отражении детонационной волны от стенки дан Зельдовичем и Станюковичем. Рассмотрим эту задачу.

Пусть плоская детонационная волна начинается у левого открытого конца заряда ВВ (в начале координат). Длина заряда l ; у правого конца при $x=l$ помещена недеформируемая стенка (рис. 141).

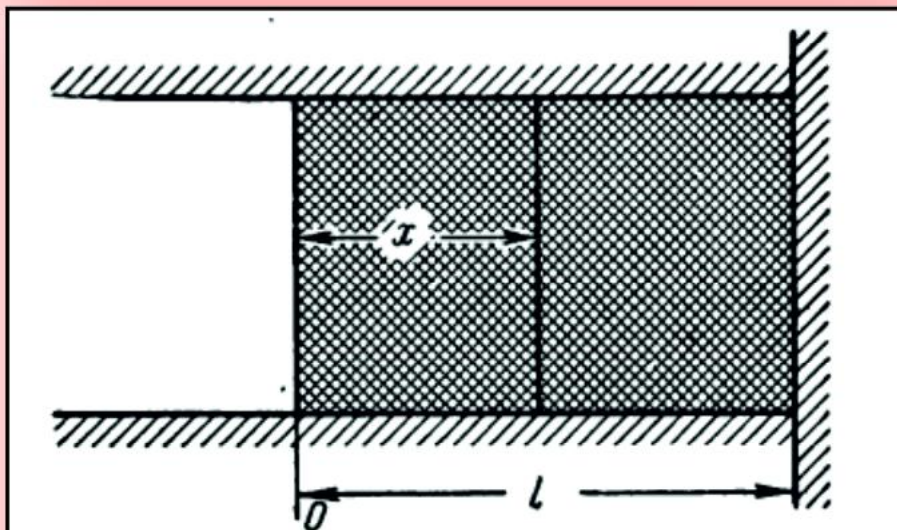


Рис. 141. К выводу зависимости для импульса при отражении детонационной волны от недеформируемой стенки.

Авторы излагают технику вывода двух окончательных формул, во-первых, закона изменения давления у стенки, и во-вторых, вычисления полного импульса количества движения потенциально передаваемого стенке давлением ДВ и ВГ. При этом попутно вычисляется промежуток времени, за который передаётся основная доля импульса (несколько десятков микросекунд), а также авторы обращают внимание на то, что давление (в десятки гигапаскалей) даже в момент окончания этого промежутка превышает значение предела упругой деформации соответствующих материалов стенки. И это, подчёркивают они, свидетельствует о том, что, по факту, преграде будет передана только часть этого импульса, так как она будет разрушена до окончания его действия. В результате, взрывные газы, расширяясь, будут и дальше продвигаться в хвостовую сторону ракеты в пространстве, ранее заполненным топливом РДТГ, между её корпусом и газодом. Какая-то их часть, возможно, может расширяться и по газоду (об этом позже, в последующих сообщениях).

Скрытый текст

$$p = \frac{64}{27} p_n \left(\frac{l}{Dt} \right)^3. \quad (57,11)$$

Уравнение (57,11) дает закон изменения давления у стенки. Графически эта зависимость представлена на рис. 142. Полный

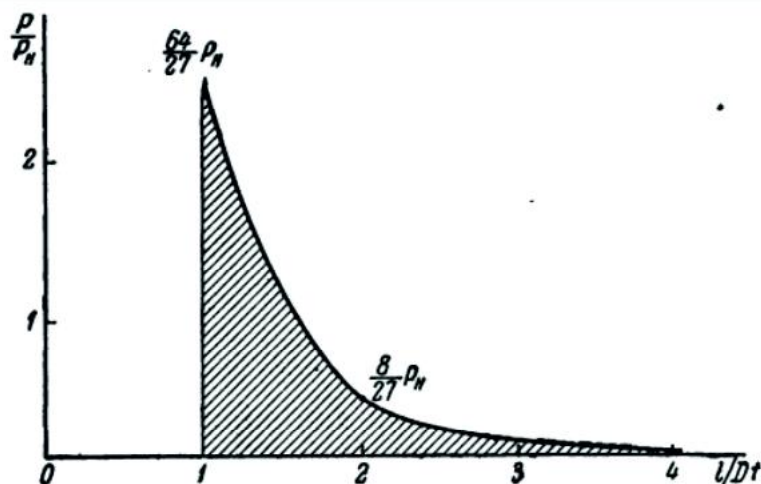


Рис. 142. Падение давления, действующего на стенку при отражении детонационной волны.

импульс при отражении детонационной волны от стенки

$$I = \int_{\frac{l}{D}}^{\infty} p dt = \frac{64}{27} S p_n \left(\frac{l}{D} \right)^3 \int_{\frac{l}{D}}^{\infty} \frac{dt}{t^3} = \frac{32}{27} S p_n \frac{l}{D}, \quad (57,12)$$

где S — площадь поперечного сечения заряда ВВ.

Поскольку

$$p_n = \frac{1}{4} \rho_0 D^2,$$

то окончательно будем иметь

$$I = \frac{8}{27} S \rho_0 l D = \frac{8}{27} m D, \quad (57,13)$$

где $m = S \rho_0 l$ — масса заряда.

Как видно из рис. 142, давление у стенки падает чрезвычайно резко. Из этого следует, что импульс, обуславливающий местное действие взрыва (изображен на графике заштрихованной площадью), сообщается преграде в основном за весьма короткий промежуток времени $\tau \approx \frac{2l}{D}$, равный времени пробега волны разрежения по заряду. $\frac{D}{2}$ — скорость волны разрежения.

В случае $D = 8000$ м/сек и $l = 20$ см $t = 5 \cdot 10^{-6}$ сек.

За это время давление падает до значения $p_\tau = \frac{8}{27} p_n$, которое все же еще достаточно велико и обычно превосходит предел упругих деформаций соответствующих материалов.

При расчетах необходимо учитывать, что местное действие взрыва в условиях непосредственного контакта заряда с преградой в ряде случаев обусловлено не полным импульсом, а лишь некоторой его частью, за время действия которой давление не упадет ниже некоторого критического предела зависящего от

... упадет ниже некоторого критического предела, зависящего от конструкции и механических характеристик материала преграды.

Понятно, что полная величина импульса определяется заштрихованной площадью, представленной на этом графике. Оси графика обозначены относительными единицами, ось X нумеруется величинами времени прохода ДВ по всей длине заряда, а ось Y – безразмерными величинами отношения давления P на стенку действующего в конкретный момент времени, к максимальному значению давления P_н на фронте двигающейся вдоль заряда ДВ. Очевидно, что, согласно (1) и (2) максимальная величина давления на стенке более, чем в два раза, превышает P_н.

Итого, предварительные расчёты по формулам из источника (1), применительно к ракете Бука 9М38, при массе ВВ (в пересчёте на тротил), равной 40кг, длине заряда ВВ в 0,47м, плотности ВВ в 1600кг/куб.м и при скорости ДВ, равной 7700 м/сек, выдали следующие значения: максимальное давление на преграду превышает 56 ГПа, длительность импульса - 125мксек, а полная величина импульса – более 84000 кг*м/сек.

Продолжение следует..

Далее, переключаемся на источник (2), так как в нём рассматривается дальнейшая практическая детализация взаимодействия ДВ и ВГ с торцевой преградой, которую рассматривают уже, как сжимаемую (деформируемую). В итоге, представлено графическое решение этой задачи для нескольких конкретных материалов этой преграды, в том числе, и алюминиевой, представленной, как я уже отметил и выше, крышкой БЧ ракеты Бука.

Скрытый текст

Величину ω_0 удобно определять графоаналитическим решением уравнения (15.82) с помощью $(p-u)$ -диаграммы вещества преграды. Расчеты по этой формуле дают результаты, близкие к полученным в гл. 11.

Величина импульса на преграде для любого момента времени $t > l/D$ определяется интегралом

$$i = \int_{l/D}^t p_H \frac{64}{27} \left(\frac{l}{Dt} \right)^3 \frac{(1 - \omega_0)^3 dt}{(1 - \omega_0 (1 - (l/Dt)^{\beta-1}))^{3\beta/(\beta-1)}}. \quad (15.83)$$

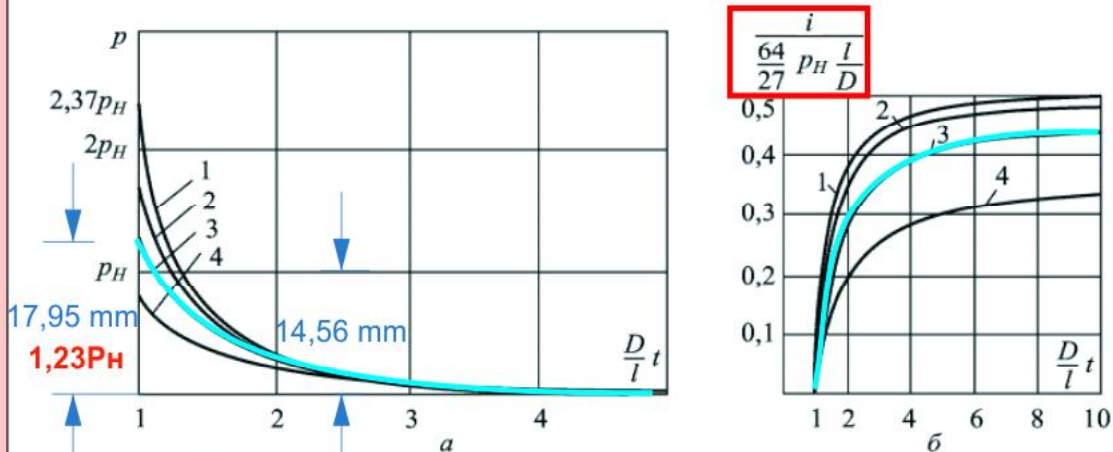


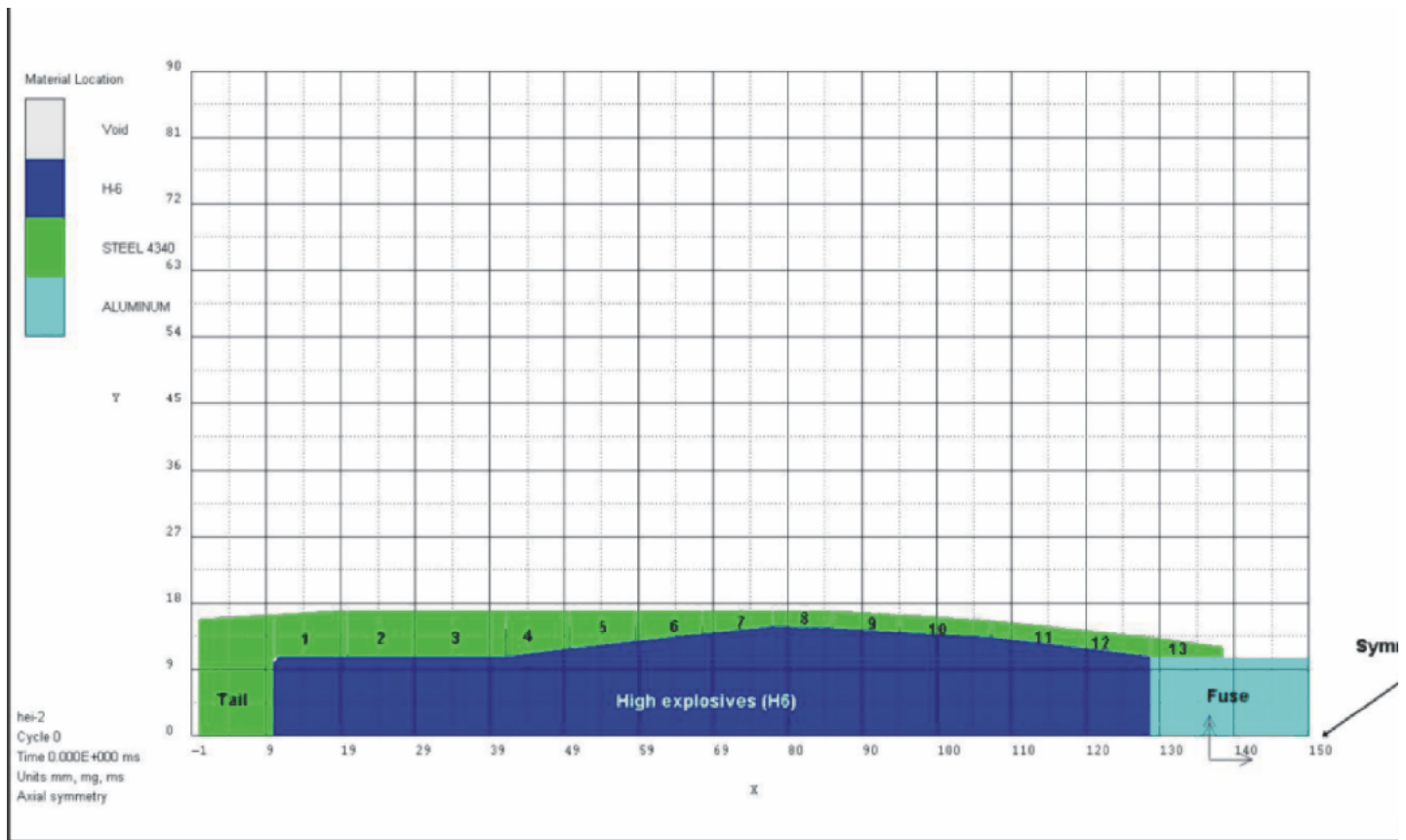
Рис. 15.13. Зависимость давления (а) и импульса (б) взрыва от времени с учетом сжимаемости разных преград: 1 — жесткая преграда, 2 — медь, 3 — алюминий, 4 — вода

Расчеты показывают, что для любых реальных преград $\beta > 1$. В силу этого спад давления продуктов детонации на контактной поверхности должен происходить медленнее, чем это следует из уравнения (15.53). На рис. 15.13а представлены кривые $p(t)$, рассчитанные по формуле (15.81) для нескольких комбинаций «ВВ-преграда» с учетом значений ω_0 и β , найденных из соотношений (15.65) и (15.75) по методу наименьших квадратов.

В итоге, из анализа графиков получается, что максимальное давление на деформируемую преграду из алюминия уменьшится до почти 28 ГПа, возрастет время длительности импульса до 250мксек, а полная величина импульса снизится на 60%, до 50000кг*м/сек, что, по сути, равносильно пропорциональному уменьшению массы заряда, до 15,2кг, в тротиловом эквиваленте.

Конечный этап исследования рассматриваемой задачи связан с определением аналитического учёта разлёта взрывных газов в сторону боковых стенок заряда ВВ. В качестве образца привожу результаты компьютерного моделирования этого процесса, построенного на выводах подобного аналитического учёта, которые качественно представляют происходящее перераспределение энергии взрыва в подобной ситуации.

Скрытый текст



Time 0 microseconds

Переходим к аналитическим выводам, конечные результаты которых (формулы) потребуются для вычисления значений заявленных ранее параметров рассматриваемой ситуации с БЧ ракеты Бука.

Авторы источников (1) и (2) формулируют их следующим образом:

Скрытый текст

Уравнение (15.55) предполагает линейную зависимость между импульсом и длиной заряда, что в действительности не наблюдается. Объясняется это тем, что на практике не представляется возможным реализовать строго одномерное движение продуктов детонации и полностью исключить боковой их разлет даже при заключении заряда в достаточно прочную оболочку.

Однако зависимость (15.55) может быть использована не только для одномерного, но и для трехмерного случая. Для этого необходимо вместо полной массы заряда подставить массу активной его части, которая может быть в каждом частном случае рассчитана приближенно.

Теория активной части заряда разрабатывалась Власовым, Покровским и получила дальнейшее развитие в работе Баума и Станюковича. Под активной частью заряда понимают ту часть заряда, продукты детонации которой разлетаются в заданном направлении.

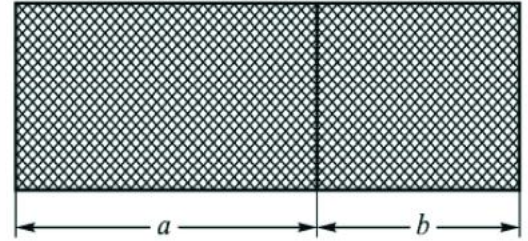


Рис. 15.14. Разлет продуктов детонации цилиндрического заряда с торцов

Из (15.85) и (15.86) видно, что предельное значение активной массы при заданном диаметре заряда достигается при длине заряда $l = 9/2r_0$. Отсюда следует, что увеличение удельного импульса при увеличении длины заряда должно происходить лишь до известного предела. При увеличении длины заряда выше его оптимального значения $l_{пр} = 9/2r_0$ (при этом $l_a = 4/9l_{пр}$) увеличение импульса не должно наблюдаться (рис. 15.15).

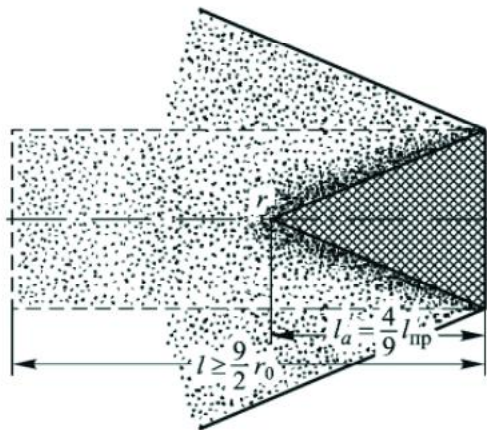


Рис. 15.15. Активная части открытого заряда при $l > l_{пр}$.

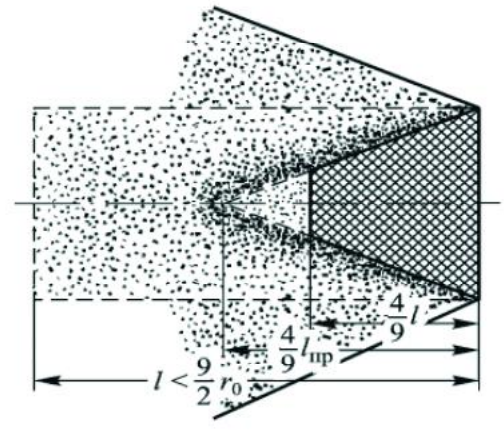


Рис. 15.16. Активная части открытого заряда при $l < l_{пр}$.

Если длина заряда $l < 9/2r_0$, то активная масса заряда определяется объемом усеченного конуса, высота которого равна $4/9l$ (рис. 15.16).

Масса активной части заряда выражается в этом случае следующей зависимостью:

$$m_a = \left(\frac{4}{9} l - \frac{8}{81} \frac{l^2}{r_0} + \frac{16}{2187} \frac{l^3}{r_0^2} \right) \pi r_0^2 \rho_0. \quad (15.89)$$

Полученные выше теоретические соотношения для импульса при взрыве и выводы, сделанные в отношении оценки бризантности ВВ, подтверждаются результатами экспериментальных исследований.

Итак, анализ всех выводов авторов источников (1) и (2), в конечном счёте, сводится, как они и провозглашают, к использованию ключевой формулы вычисления импульса ДВ и ВГ, представленной в (2) под номером (15.55):

Скрытый текст

$$I = \frac{8}{27} Sl\rho_0 D = \frac{8}{27} mD,$$

где $Sl\rho_0$ — масса заряда.

Эта формула была выведена для идеализированной жёсткой (недеформируемой) торцевой стенки прямоугольного одномерного заряда ВВ массой m (при отсутствии бокового разлёта ВГ, на которую воздействует ДВ и ВГ), однако, она вполне работоспособна и для нашей ситуации с алюминиевой (или иной, тоже сжимаемой) торцевой «стенкой» БЧ 9М38, а также при учёте бокового разлёта ВГ при движении ДВ в трёхмерном пространстве. В конечном счёте, следует лишь соответствующим образом, выведенном авторами, рассчитать необходимую долю массы ВВ, используемую для создания ВГ, движущихся в сторону торцевой стенки для каждого конкретного конструктива заряда. Разумеется, это должно сопровождаться построением соответствующей математической цепочки модификаций исходной массы заряда, .

В нашем случае, имеют место быть два понижающих коэффициента исходной массы ВВ m . Первый, численно равный 0,4, отвечает за потерю энергии ВГ при сжатии торцевой алюминиевой крышки БЧ, а второй – затраты энергии на боковой разлёт ГПЭ, а также, при растекании ВГ в тех же направлениях, на создание фугасного воздействия на окружающее пространство. Последний коэффициент рассчитывается по формуле 15.89, приведённой выше.

Исходные данные моих расчётов: масса ВВ (в пересчёте на тротил) 40кг, длина заряда ВВ 0,47м, плотность ВВ 1600кг/куб.м, радиус алюминиевой торцевой крышки 0,13м, скорость ДВ 7700м/сек. Итого, полная величина импульса торможения конструкции цилиндрического обломка (ЦОР) ракеты 9М38, простирающейся от торцевой крышки её БЧ до края сопла, составила величину равную 6765 кг*м/сек. Полная масса снаряжённой ракеты 9М38 составляет величину 690 кг, масса топлива 340 кг, масса БЧ 70 кг, масса головной части, примерно, 120. Минусуем топливо и все части ракеты выше торцевой крышки, и получаем массу ЦОР – 160 кг.

Итого, зная минусующую величину импульса количества движения размером в 6765 кг*м/сек, делим её на тормозящую массу ЦОР 9М38 в 160 кг, и получаем потерю его исходной скорости в 733 м/сек на 42 м/сек. То есть, этот самый ЦОР, а также все его компоненты, крепко с ним совмещённые, как внутри, так и снаружи, **далее продолжают своё движение по начальной траектории со скоростью равной 691 м/сек.**

Продолжение следует..