

*Е. В. Проскуряков*<sup>1,2\*</sup>, *М. В. Сорокин*<sup>1</sup>

## **Вопросы динамической защиты бронетехники**

<sup>1</sup> Новосибирское высшее военное командное училище, г. Новосибирск,  
Российская Федерация

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,  
Российская Федерация

\* e-mail: saper67@mail.ru

**Аннотация.** В данной работе представлен краткий обзор способов взрывной защиты бронетехники от кумулятивных средств ее поражения. Предполагается, что дополнительная защита для бронетехники повысит боевую устойчивость, защищенность и живучесть. Рассмотрены задачи по расчету некоторых параметров элементов динамической защиты в момент их срабатывания: скорости метания пластин элементов динамической защиты; времени действия элементов динамической защиты; времени движения внешних пластин элементов динамической защиты до основания кумулятивных зарядов боеприпасов. Представлен модифицированный вариант динамической защиты бронетехники от тандемных кумулятивных боеприпасов, разрушающий основные кумулятивные заряды до их срабатывания.

**Ключевые слова:** динамическая защита, элемент динамической защиты, тандемный кумулятивный боеприпас, кумулятивный заряд, кумулятивная струя, взрывчатое вещество

*Е. В. Proskuryakov*<sup>1,2\*</sup>, *I. I. Sorokin*<sup>1</sup>

## **Issues of Dynamic Protection of Armored Vehicles**

<sup>1</sup> Novosibirsk Higher Military Command School, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: saper67@mail.ru

**Abstract.** This paper provides a brief overview of the methods of explosive protection of armored vehicles from cumulative means of destruction. It is assumed, that additional protection for armored vehicles will increase combat stability, security and survivability. The tasks of calculating some parameters of dynamic protection elements at the time of their operation are considered: the speed of throwing plates of dynamic protection elements; the duration of the dynamic protection elements; the time of movement of the outer plates of the dynamic protection elements to the base of the shaped charges of ammunition. A modified version of the dynamic protection of armored vehicles from tandem shaped ammunition is presented, destroying the main shaped charges before they are triggered.

**Keywords:** dynamic protection, dynamic protection element, tandem shaped ammunition, shaped charge, shaped jet, explosive

### ***Введение***

В войска ВС РФ по опыту спецоперации на Украине стали поставлять дополнительные комплекты динамической защиты, значительно повышающей боевую устойчивость и защищенность танков. Дополнительная защита для танков

позволяет ремонтным батальонам, руководствуясь соответствующими оперативно разработанными рекомендациями, непосредственно в частях на передовой устанавливать на боевые машины дополнительную защиту от противотанковых снарядов, делая ее, фактически, всеракурсной. За счет этого существенно возрастает боевая устойчивость, защищенность и живучесть танков войск РФ, в том числе к бронебойным оперенным подкалиберным боеприпасам – бронестойкость в бортовой проекции теперь почти сравнивается с самой крепкой лобовой проекцией.

Дополнительная защита для танков необходима из-за характера боев в рамках спецоперации РФ, а также из-за особенностей использования боевых машин и складывающейся тактической обстановки, наличия новых противотанковых средств, включая применение дронов.

### *Методы и материалы*

Основной защитой бронетехники является гомогенная броня, которая обеспечивает инерционное и прочностное сопротивление прониканию кумулятивной струи (КС) и бронебойных сердечников. Различные типы комбинированной брони (экранированная, разнесенная, составная и др.) не способны защитить бронетехнику от современных противотанковых кумулятивных боеприпасов (КБП).

Радикальным способом усиления бронезащиты является динамическая защита [1, 2]. Динамической защитой (ДЗ) называется защита гомогенной брони с помощью взрывчатого вещества (ВВ) в металлической оболочке. ДЗ осуществляет поражение боеприпасов противника и защищает бронированную технику (танки, БМП, БТР и др.).

Две металлические пластины и слой ВВ между ними называют элементом динамической защиты (ЭДЗ). Для защиты ЭДЗ от пуль, осколков и ударных волн ЭДЗ помещают в стальную коробку, которая называется блоком ДЗ. В штатном навесном варианте блока ДЗ «Контакт» два ЭДЗ устанавливались под небольшим углом (рис. 1). Блок ДЗ не взрывается при обстреле боеприпасами стрелкового оружия, малокалиберными (30 мм) снарядами и при воздействии осколков.

Для преодоления штатного навесного блока ДЗ разработаны тандемные кумулятивные заряды (КЗ) (Javelin и др.), состоящие из небольшого лидирующего заряда (предзаряда) и основного КЗ (рис. 2). Защита от тандемного КЗ осуществляется увеличением толщины защитной коробки (экрана) ДЗ, при этом значительно увеличивается масса ДЗ.

Схема взрывного ЭДЗ показана на рис. 3. КС пробивает внешнюю пластину, попадает в ВВ, инициирует его, и ВВ метает пластины. Внешняя пластина движется навстречу КС, а внутренняя пластина догоняет КС, в результате внешняя пластина сильнее разрушает КС.

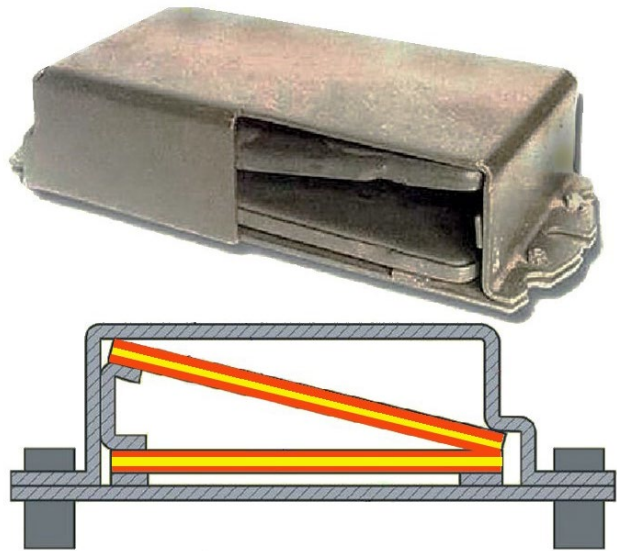


Рис. 1. Танк, оснащенный навесной ДЗ «Контакт» (слева), и устройство блока ДЗ «Контакт» (справа)

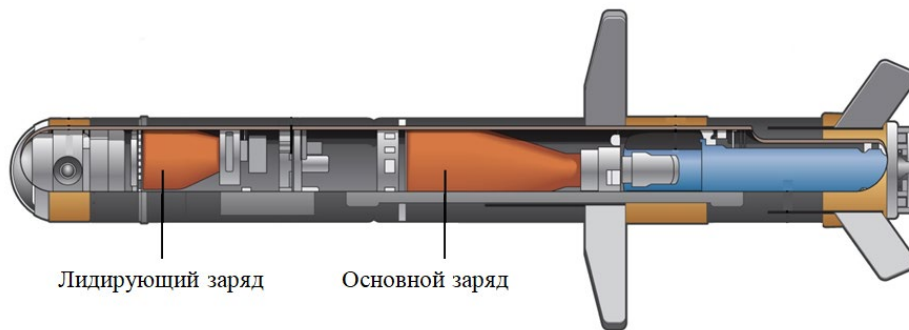


Рис. 2. ПТУР FGM-148 Javelin

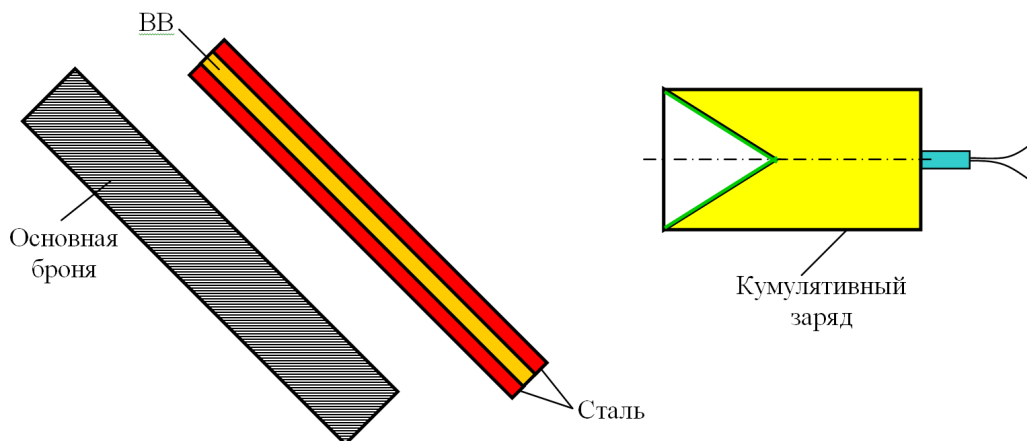


Рис. 3. Взрывной ЭДЗ (танк М48А3, США)

На танке М48А3 (США) (рис. 4) использовались ЭДЗ следующих размеров: 260×200×10 мм; 380×200×10 и др. Толщина стальных пластин составляла 3 мм, толщина слоя ВВ (гексоген) была 4 мм. Форма ЭДЗ может быть различной (ци-

линдр и др.), на практике применяются плоские ЭДЗ из-за их простоты изготовления и эффективности.



Рис. 4. Танк М48А3 с динамической защитой

Различают взрывную и невзрывную ДЗ в зависимости от источника энергии движения пластин [3, 4]. Взрывные ЭДЗ содержат ВВ (рис. 3). В невзрывных ЭДЗ вместо ВВ размещается инертный сжимаемый наполнитель (резина и др.). При проникании КС через ДЗ в наполнителе формируется ударная волна (УВ), которая ускоряет пластины. Источником энергии в невзрывной ДЗ является КС. Невзрывная ДЗ обладает меньшей эффективностью, чем взрывная ДЗ, но оказывает значительно меньшее ударное воздействие на защищаемый объект и может устанавливаться на легкобронированную технику (ЛБТ).

Комбинированный вариант ЭДЗ (рис. 5) содержит заряд ВВ и инертный наполнитель. Инертный наполнитель размещается со стороны защищаемого объекта и смягчает ударное воздействие на этот объект. Комбинированный ЭДЗ применяется в БМП Bradley (США) (рис. 6).

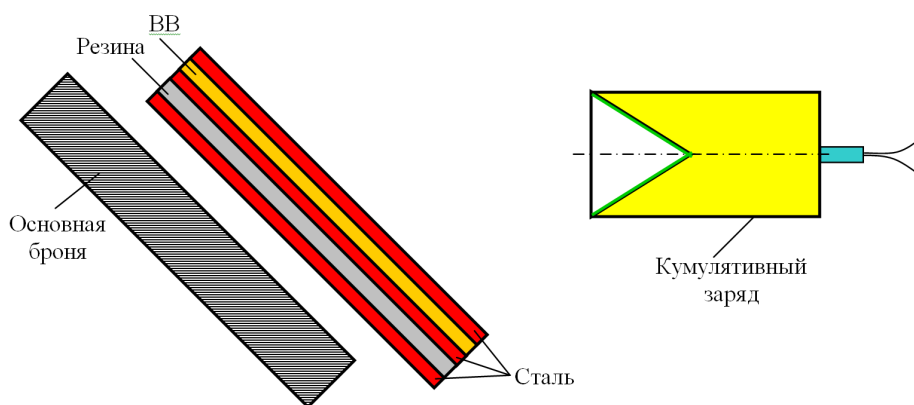


Рис. 5. Комбинированный ЭДЗ (БМП Bradley, США)



Рис. 6. БМП Bradley с динамической защитой

Рассмотрена задача (рис. 7) метания двух одинаковых пластин зарядом ВВ, расположенным между пластинами [4]. Даны масса пластины  $M$ , масса ВВ  $2 \cdot m$ , толщина плоского заряда ВВ  $2 \cdot a$  и скорость  $D$  детонации ВВ (энергетическая характеристика ВВ). Необходимо найти скорость метания пластин  $V_0$ .

Метание пластин происходит за счет энергии детонации ВВ. Энергия ВВ переходит в кинетическую энергию пластин и кинетическую энергию продуктов взрыва (ПВ). Обычно масса пластины превосходит массу ВВ, и используется гипотеза мгновенной детонации ВВ. Согласно модели Покровского [4], предполагается линейное распределение скорости внутри ПВ. На поверхности пластины предполагается совпадение скоростей пластины и ПВ.

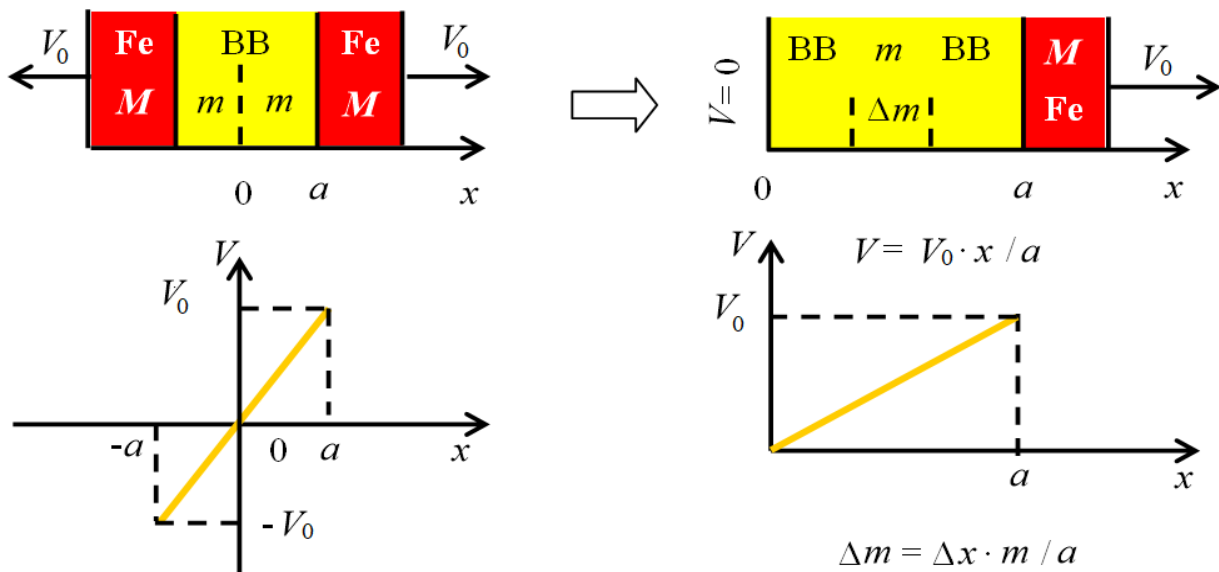


Рис. 7. Исходная и эквивалентная схемы метания пластины в ЭДЗ

Схема метания двух одинаковых пластин является симметричной, поэтому после детонации исходный заряд массой  $2 \cdot m$  разделится пополам: заряд массой  $m$  полетит в одну сторону и такой же заряд полетит в противоположную сторону. На границе раздела скорость ПВ равна нулю. Это эквивалентно тому, что в этой точке находится жесткая стенка (ПВ неподвижны). В результате задача о двустороннем метании двух пластин зарядом массой  $2 \cdot m$  эквивалентна одностороннему метанию пластины зарядом массой  $m$ , который расположен на жесткой стенке (скорость ПВ равна нулю). Массу заряда ВВ, участвующего в метании пластины, называют активной массой, в данном случае она равна  $m$ .

Рассматривается слой ПВ толщиной  $\Delta x$  и определяется его масса  $\Delta m$ . Скорость слоя ПВ с координатой  $x$  зависит от этой координаты, поэтому кинетическая энергия  $\Delta E_k$  этого слоя также зависит от координаты  $x$ . Производится суммирование значений энергии слоев (1), в пределе суммирование заменяется интегрированием (2).

$$\Delta E_k = \frac{\Delta m \cdot V^2}{2} = \frac{m \cdot V_0^2}{2 \cdot a^3} \cdot x^2 \cdot \Delta x ; \quad E_k = \sum \Delta E_k ; \quad (1)$$

$$E_k = \frac{m \cdot V_0^2}{2 \cdot a^3} \cdot \int_0^a x^2 \cdot dx = \frac{m \cdot V_0^2}{6} ; \quad E_{ВВ} = \frac{D^2}{16} ; \quad (2)$$

$$\frac{M \cdot V_0^2}{2} + \frac{m \cdot V_0^2}{6} = m \cdot E_{ВВ} ; \quad \frac{M \cdot V_0^2}{2} + \frac{m \cdot V_0^2}{6} = m \cdot \frac{D^2}{16}. \quad (3)$$

Закон сохранения энергии для заданной схемы имеет вид (3): энергия взрыва ВВ переходит в кинетическую энергию оболочки и кинетическую энергию продуктов детонации. Имеется связь между удельной энергией взрыва  $E_{ВВ}$  и скоростью  $D$  детонации ВВ.

В результате получается выражение для скорости метания пластины в зависимости от параметра  $\beta = m / M$  (коэффициент нагрузки пластины):

$$V_0 = \frac{D}{2} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot m / M}{2 \cdot (3 + m / M)}}. \quad (4)$$

*Задача 1.* ЭДЗ (3-4-3) состоит из двух стальных пластин толщиной  $\delta_{п} = 3$  мм, между пластинами находится слой ВВ толщиной  $\delta_{ВВ} = 4$  мм. Плотность стали:  $\rho_{п} = 7,8$  г/см<sup>3</sup>; плотность ВВ:  $\rho_{ВВ} = 1,6$  г/см<sup>3</sup>; скорость детонации ВВ:  $D = 7,2$  км/с. Найти скорость метания пластин  $V_0$  (рис. 3).

*Решение.* Определяем параметры:  $a = \delta_{ВВ}/2 = 2$  мм;  $m/M = (a \cdot \rho_{ВВ})/(\delta_{п} \cdot \rho_{с}) = 0,137$ . Скорость метания пластин находим по формуле (4):  $V_0 = 0,9$  км/с.

*Задача 2.* ЭДЗ «Контакт» (2-6-2) состоит из двух стальных пластин толщиной  $\delta_{п} = 2$  мм, между пластинами находится слой ВВ толщиной  $\delta_{ВВ} = 6$  мм. Плот-

ность стали:  $\rho_{\text{п}} = 7,8 \text{ г/см}^3$ ; плотность ВВ:  $\rho_{\text{ВВ}} = 1,6 \text{ г/см}^3$ ; скорость детонации ВВ:  $D = 7,2 \text{ км/с}$ . Найти скорость метания пластин  $V_0$ .

*Решение.* Определяем параметры:  $a = \delta_{\text{ВВ}}/2 = 3 \text{ мм}$ ;  $m/M = (a \cdot \rho_{\text{ВВ}}) / (\delta_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}}) = 0,308$ . Скорость метания пластин находим по формуле (4):  $V_0 = 1,3 \text{ км/с}$ .

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов скорости метания пластин

ЭДЗ	$a, \text{ мм}$	$m / M$	$V_0, \text{ км/с}$
3-4-3	2	0,137	0,9
2-6-2	3	0,308	1,3

*Задача 3.* ЭДЗ (3-4-3) размером  $380 \times 200 \times 10$  находится под углом  $45^\circ$  к оси тандемного КЗ и срабатывает при попадании КС предзаряда в центр ЭДЗ. Найти время нахождения внешней пластины на оси основного КЗ (время действия ЭДЗ).

*Решение.* Схема ЭДЗ и тандемного КЗ показана на рис. 8. Расстояние от края пластины ЭДЗ до оси КЗ составляет  $190 \text{ мм}$ . Скорость движения пластины (задача 1):  $V_0 = 0,9 \text{ км/с} = 0,9 \text{ мм/мкс}$ . Время нахождения пластины на оси КЗ:  $t_0 = 190 / 0,9 = 211 \text{ мкс}$ .

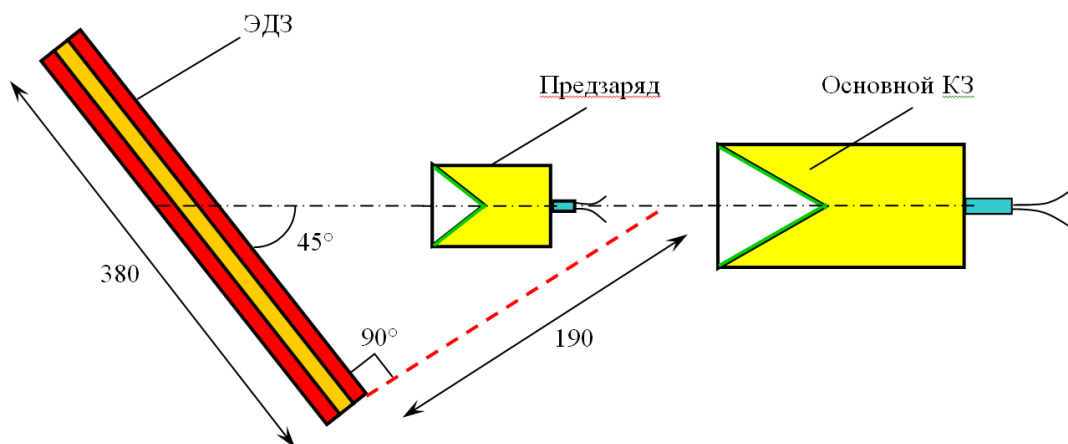


Рис. 8. Расчет времени действия ЭДЗ

*Задача 4.* Пусть плоскость пластин ЭДЗ «Контакт» перпендикулярна оси основного КЗ «Джавелин». Фокусное расстояние основного КЗ:  $F_2 = 3 \cdot d$  ( $d = 127 \text{ мм}$ ). Скорость пластины:  $V_0 = 1,3 \text{ км/с} = 1,3 \text{ мм/мкс}$ .

Скорость снаряда:  $V_1 = 390 \text{ м/с} = 0,39 \text{ мм/мкс}$ .

Найти время  $t_{\text{п}}$  движения внешней пластины до основания КЗ (рис. 9).

*Решение.*  $t_{\text{п}} = F_2 / (V_0 + V_1) = 224 \text{ мкс}$ .

Рассмотрим взаимодействие типового блока ДЗ с тандемным КЗ (рис. 10). Основной заряд тандема срабатывает с задержкой во времени 200 мкс – 1 мс, и ДЗ не способна защитить броню. Защита от тандемного КЗ может осуществляться за счет увеличения толщины внешнего экрана ДЗ (более 50 мм брони), при этом значительно увеличивается масса ДЗ. Роль экрана выполняет внешняя часть стальной коробки.

Изменение ориентации ЭДЗ может нарушить работу тандемного КЗ.

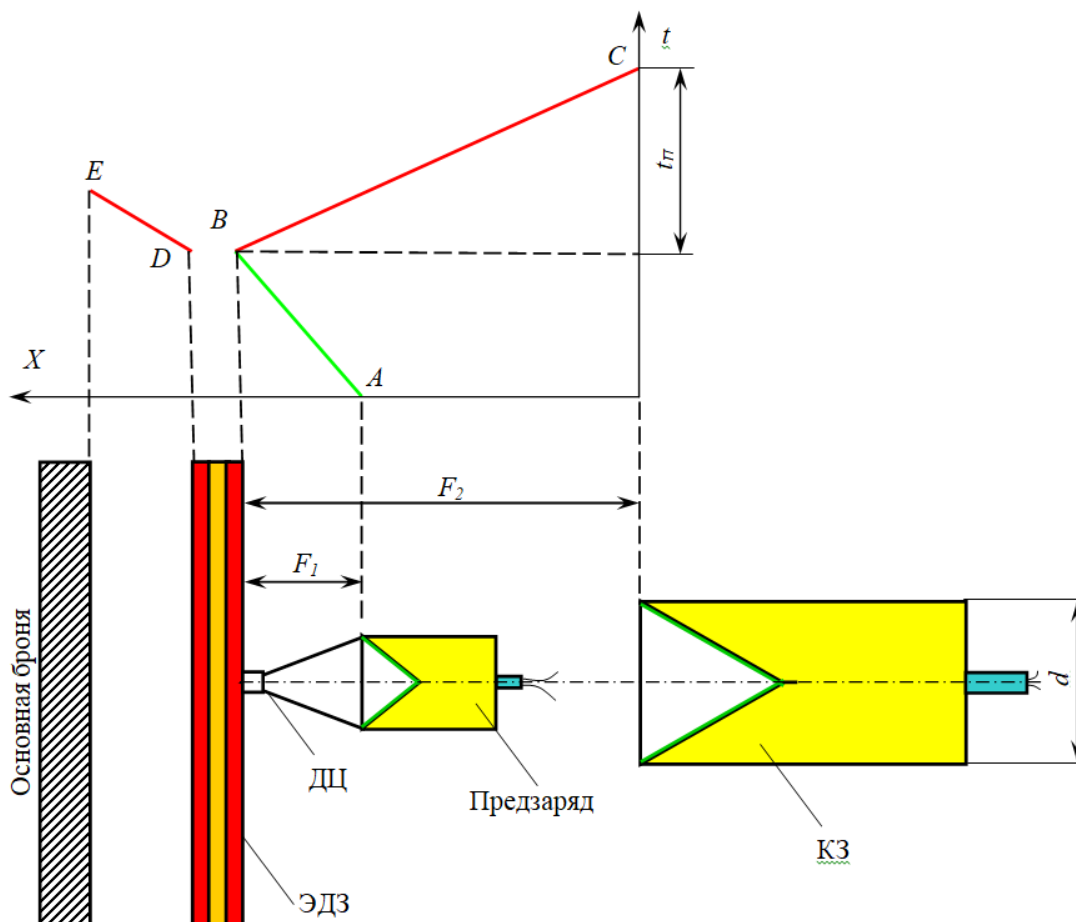


Рис. 9.  $X - t$  диаграмма функционирования элемента динамической защиты:  
 $F_1, F_2$  – фокусные расстояния предзаряда и основного кумулятивного заряда;  
 $d$  – калибр КЗ;  $t_\pi$  – время движения пластины; ДЦ – датчик цели (пьезодатчик)  
 взрывателя предзаряда;  $AB$  – траектория кумулятивной струи предзаряда;  
 $BC$  – траектория наружной пластины ЭДЗ;  $DE$  – траектория внутренней  
 пластины ЭДЗ



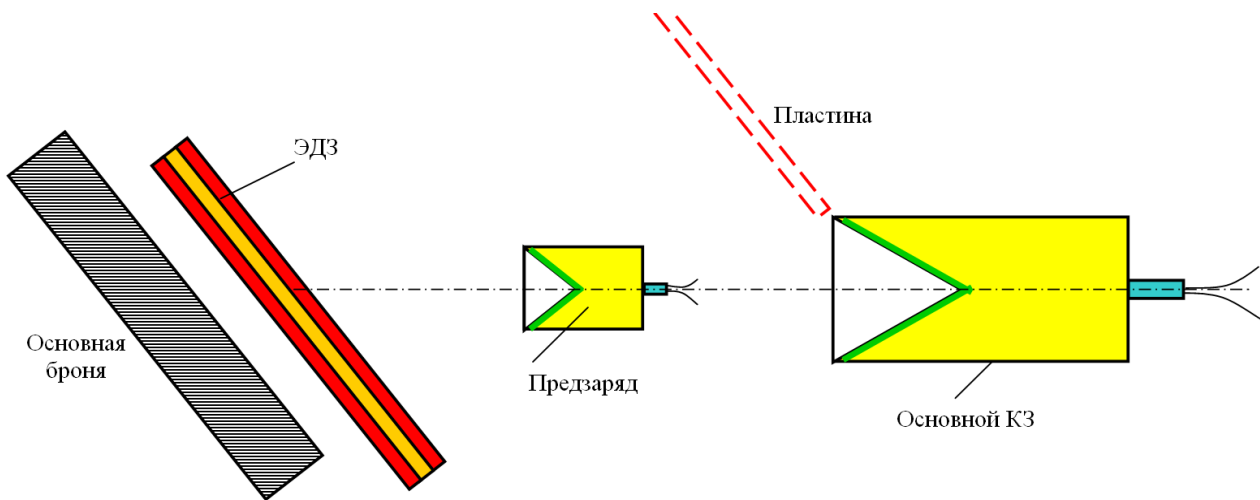


Рис. 10. Тандемный КЗ и ЭДЗ (ЭДЗ не защищает основную броню)

Рассмотрим вариант ЭДЗ (2-6-2) с увеличенной скоростью пластин. Разместим ЭДЗ (рис. 11) перпендикулярно оси основного КЗ тандема (угол между поверхностью пластин и осью КЗ – прямой), тогда внешняя пластина ЭДЗ достигнет основной КЗ до его срабатывания и разрушит его. Небольшой дефект на поверхности облицовки основного КЗ существенно нарушает его работу. Внешняя пластина ЭДЗ может быть изготовлена из готовых поражающих элементов и иметь высокую скорость. ЭДЗ (рис. 10) выполняет роль мины осколочной направленной, установленной на поверхности брони. Предзаряд тандема осуществляет ее инициирование.

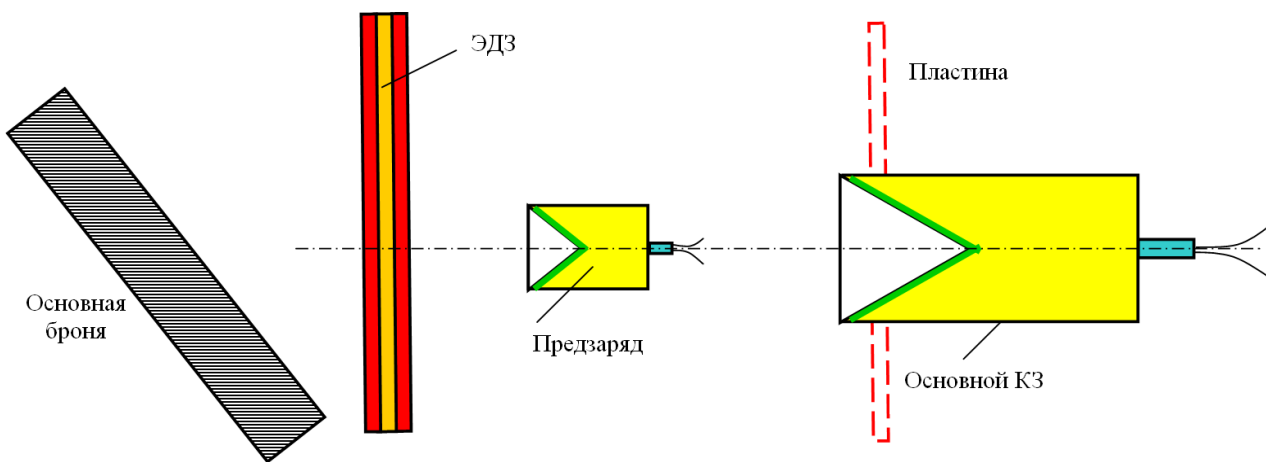


Рис. 11. Тандемный КЗ и ЭДЗ (ЭДЗ защищает основную броню)

При монозаряде необходим дополнительный ЭДЗ (рис. 12), установленный наклонно к оси КЗ (угол между поверхностью пластин и осью КЗ составляет  $30^\circ - 45^\circ$ ).

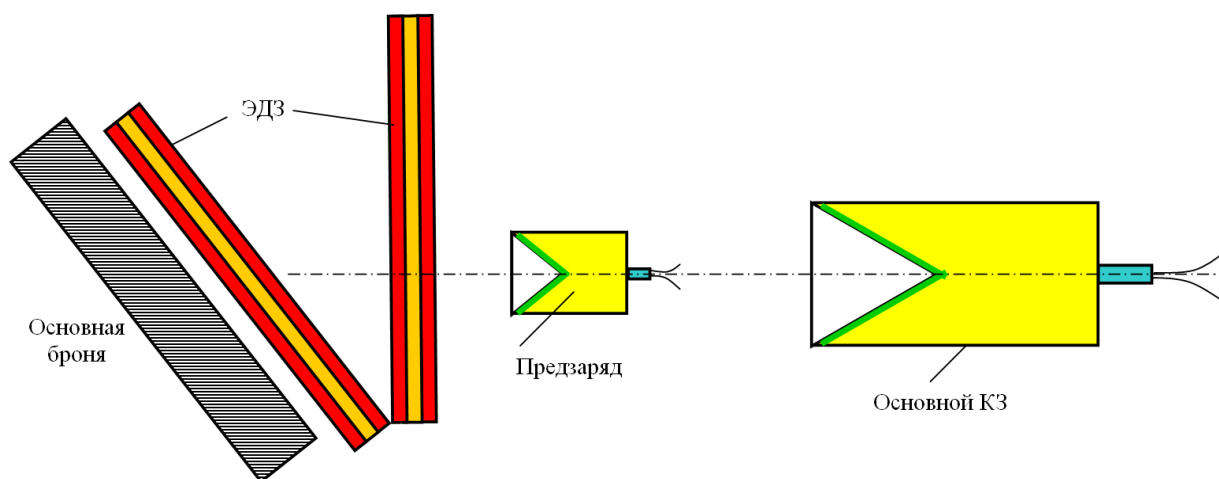


Рис. 12. Блок из двух ЭДЗ (защищает основную броню от тандемных и монозарядов)

### *Результаты*

На практике угол подхода КБП к блоку ДЗ может значительно меняться. Для увеличения вероятности разрушения основного КЗ тандема внешняя пластина ЭДЗ, обращенная к КЗ, может иметь форму купола высотой  $h = (0,2 - 0,3) \cdot d$  ( $d$  – диаметр его основания) и полностью закрывать типовой блок ДЗ. Эта пластина также изготовлена из готовых поражающих элементов (ПЭ), которые летят с высокой скоростью (1300 – 1500 м/с) в значительном интервале углов и достигают основной КЗ тандема до его срабатывания.

Внешний ЭДЗ (рис. 13) выполняет роль мины осколочной направленной, установленной на поверхности брони. Другая пластина этого ЭДЗ изготовлена из инертного материала. Предзаряд тандема осуществляет инициирование внешнего ЭДЗ.

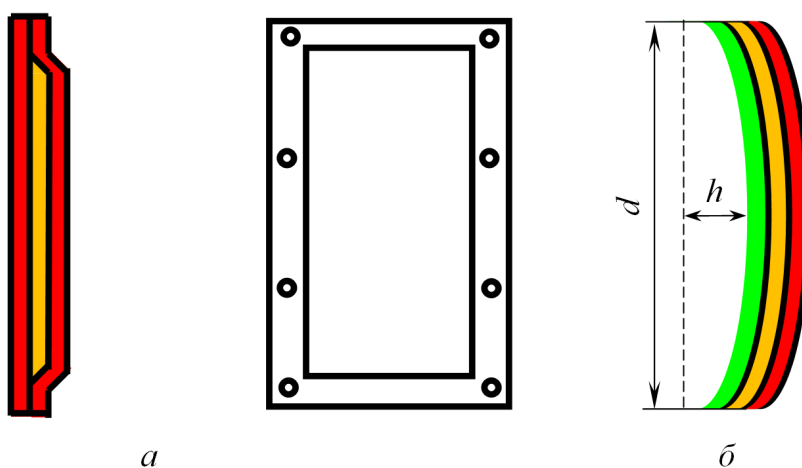


Рис. 13. Внутренний (а) и внешний (б) элементы динамической защиты

При монозаряде также необходим дополнительный ЭДЗ (рис. 14), установленный наклонно к оси КЗ (угол между поверхностью пластин и осью КЗ составляет  $30^\circ - 45^\circ$ ).

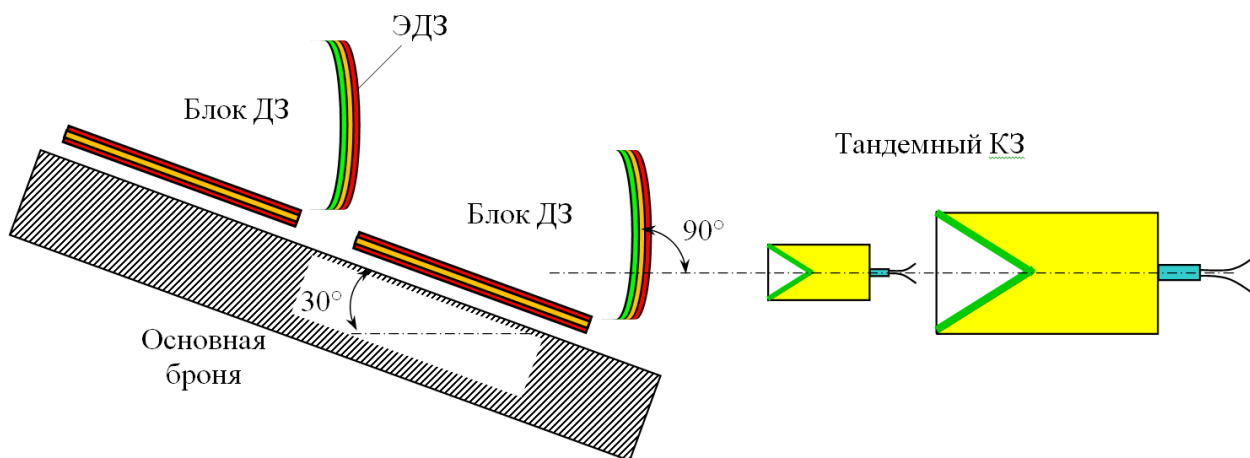


Рис. 14. Модифицированный блок ДЗ и тандемный КЗ (блок ДЗ защищает основную броню)

### Заключение

В данной работе представлен модифицированный вариант динамической защиты от тандемных КБП. Внутренний ЭДЗ блока размещается стандартно (наклонно к оси КЗ) и защищает основную броню от обычных КБП, а внешний ЭДЗ, ось которого параллельна оси КЗ, защищает броню от тандемных КБП (производится разрушение основного КЗ до его срабатывания).

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2064154 (RU), МКИ 6 F41 Н 5/007. Броневая защита / В.И. Васильев, В.А. Григорян, Е.М. Ермолаев и др.; Научно-исследовательский институт стали (РФ). – № 5044347 / 08; Заявлено 27.05.92; Опубл. 20.07.96, Бюл. №20.
2. Средства поражения и боеприпасы: Учебник / А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов и др. Под общ. ред. В.В. Селиванова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.
3. Частные вопросы конечной баллистики: монография / В.А. Григорян, А.Н. Белобородько, Н.С. Дорохов и др. Под общ. Ред. В.А. Григоряна. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006.
4. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. Т. 2. М.: Физматлит, 2004.

© Е. В. Проскуряков, М. В. Сорокин, 2024