

## О боевых частях зенитных управляемых ракет зенитной ракетной системы С-25. Часть 1

© А.О. Метельский, В.А. Марков, В.И. Пусев

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены результаты исследования конструкций боевых частей зенитных управляемых ракет на примере боевых частей ракет семейства В-300 зенитной ракетной системы С-25. Анализ информации из открытых источников позволил восстановить конструктивно-компоновочные схемы боевых частей и оценить их боевые характеристики. Благодаря этому стало возможно исследовать различные варианты исполнения боеприпасов такого вида, чтобы выявить их общие конструктивные особенности. Кроме того, широкая номенклатура боевых частей зенитных управляемых ракет В-300 демонстрирует общие закономерности их развития в контексте эволюции боевых частей зенитных управляемых ракет как отдельного вида боеприпасов. Помимо общих элементов выделены индивидуальные особенности конструкции каждого изделия. Кроме описания боевых частей зенитных управляемых ракет приведены описания и других устройств, составляющих боевое снаряжение носителя (сочетание боевой части и взрывательного устройства): предохранительно-исполнительные механизмы и радиовзрыватели. При реализации системного подхода для изучения конструкций боевых частей принимались во внимание и носители (зенитные управляемые ракеты).*

**Ключевые слова:** зенитная управляемая ракета, осколочно-фугасная боевая часть, разрывной заряд, готовые поражающие элементы, мультикумулятивная боевая часть, кумулятивный заряд, электродетонатор, предохранительно-исполнительный механизм, боевая часть направленного действия, радиовзрыватель

**Введение.** Цель данной статьи — выявление различных вариантов исполнения и общих конструктивных особенностей боевых частей (БЧ) зенитных управляемых ракет (ЗУР) на примере БЧ ЗУР семейства В-300 зенитной ракетной системы (ЗРС) С-25. В первой отечественной ЗРС С-25 реализован ряд новаторских решений, а актуальность исследования БЧ ЗУР В-300 обусловлена тем, что многочисленные особенности их конструкции применяются и в современных образцах БЧ. Кроме того, широкая номенклатура БЧ ЗУР В-300 наглядно демонстрирует различные типы поражающего действия, характерные для данного вида боеприпасов. Вместе с тем при решении задачи по восстановлению характеристик и конструктивно-компоновочных схем БЧ ЗУР зенитной ракетной системы С-25 также выполняется задача по определению общих закономерностей развития БЧ ЗУР как особого класса боеприпасов. При этом исследование БЧ ЗУР зенитной ракетной системы С-25 ведется в комплексе с конструкцией ЗУР и составляющими боевого снаряжения ЗУР (боевое снаряжение ЗУР — сочетание БЧ и взрывательного устройства)

в рамках реализации системного подхода к изучению и разработке БЧ. Это актуально, так как в большинстве работ дается классификация БЧ ЗУР в отрыве от конструкции ЗУР [1–4]. Наглядный пример подобной классификации представлен на рис. 1 [1].

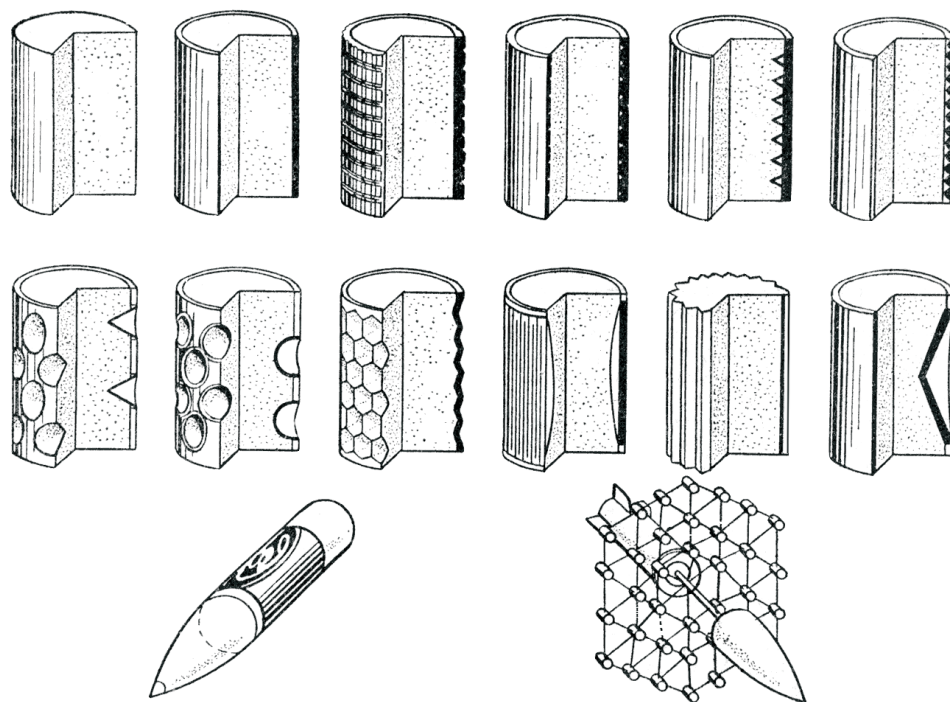


Рис. 1. Вариант классификации БЧ ЗУР в отрыве от ЗУР

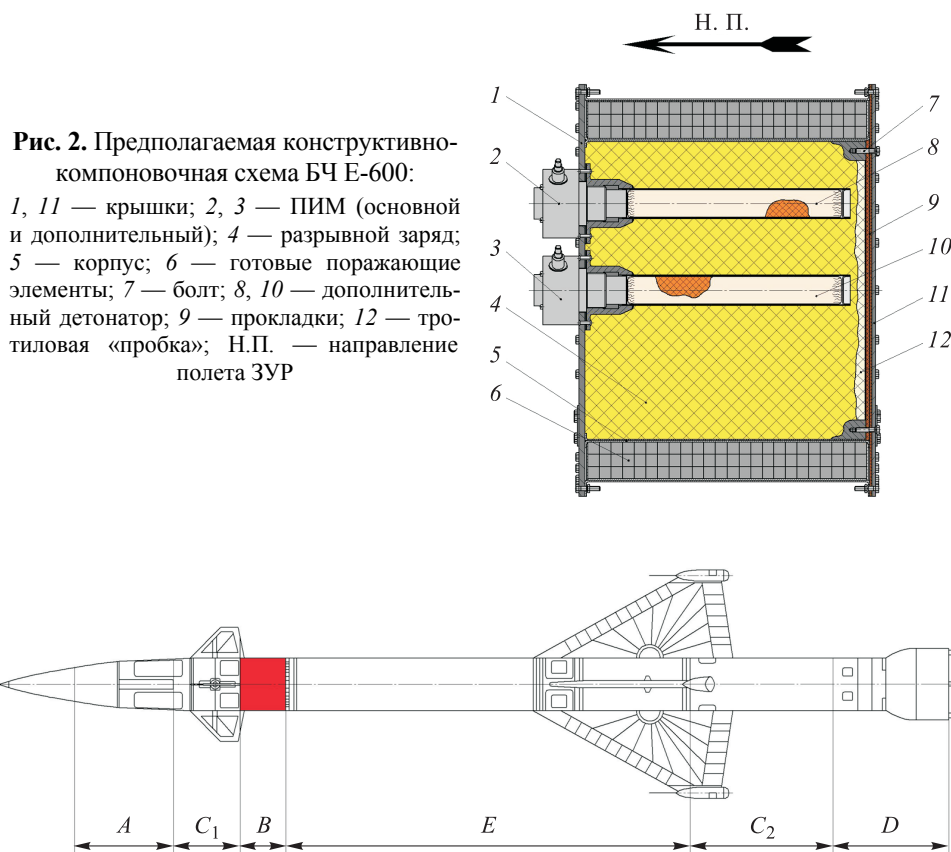
**БЧ ЗУР семейства В-300.** На этапе разработки ЗРС С-25 и при последующей ее модернизации были предложены варианты исполнения БЧ, а также созданы различные их образцы, которые частично были приняты на вооружение. Например, в некоторых источниках упоминается вариант БЧ ЗУР, который по принципу действия напоминал 76-мм, так называемый противозоопланый снаряд образца 1925 года. При взрыве корпус этого снаряда разделялся на сегменты, связанные тросами, которые при встрече перерезали элементы планера цели [5, 6]. Однако сведений о принятии на вооружение данного изделия не было обнаружено.

Боевые части ЗУР семейства В-300 представляли собой вкладные обычные и ядерные БЧ, имеющие, как правило, максимальный диаметр корпуса 500...560 мм. При этом обычные и ядерные БЧ не являлись взаимозаменяемыми. БЧ обычного снаряжения в большинстве своем были осколочно-фугасными (ОФ) с готовыми поражающими элементами (ГПЭ) и инициировались с переднего торца по направлению полета ЗУР. Каждую БЧ оснащали предохранительно-



исполнительным механизмом (ПИМ), и она приводилась в действие по команде, поступающей от радиовзрывателя (РВ). Следует отдельно отметить участие в разработке, отработке в серийном производстве, испытаниях и сдаче на вооружение РВ и ПИМ к ЗУР ЗРС С-25 Н.Д. Пославского (1921–2006) — инженера первого выпуска (1944) кафедры ПБ-Н «Проектирование боеприпасов» МВТУ им. Н.Э. Баумана (в настоящее время — кафедра «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана) [7]. Далее подробно рассмотрены принятые на вооружение конструкции БЧ ЗУР семейства В-300 с упоминанием некоторых опытных образцов.

**БЧ Е-600.** Осколочно-фугасная БЧ Е-600 (рис. 2) [8] стала первой отечественной БЧ для ЗУР, которая была принята на вооружение. Этой БЧ оснащали ЗУР 205 (рис. 3) [9] — первые ЗУР семейства В-300 [5, 6, 10–12].



**Рис. 2.** Предполагаемая конструктивно-компоновочная схема БЧ Е-600:

1, 11 — крышки; 2, 3 — ПИМ (основной и дополнительный); 4 — разрывной заряд; 5 — корпус; 6 — готовые поражающие элементы; 7 — болт; 8, 10 — дополнительный детонатор; 9 — прокладки; 12 — тротильная «пробка»; Н.П. — направление полета ЗУР

**Рис. 3.** Схема ЗУР 205, отсек БЧ закрашен

В различных вариантах исполнения БЧ Е-600 была разработана в НИИ-6 (в настоящее время — ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева») главным конструктором (ГК), выпускником химического

факультета МГУ им. М.Н. Покровского (в настоящее время — МГУ имени М.В. Ломоносова) В.А. Сухих (1908–1973) и выпускником Московского государственного экономического института (в настоящее время — РЭУ им. Г.В. Плеханова) и Академии Министерства оборонной промышленности (в настоящее время — Московская академия рынка труда и информационных технологий) инженером-конструктором Я.В. Капланом (1913–1993) под общим руководством выпускника Артиллерийской академии им. Ф.Э. Дзержинского (в настоящее время — Военная академия РВСН им. Петра Великого) Е.Н. Иванова [1, 2, 7–9, 11, 14].

Однако в техническом проекте [8] создания системы «Беркут» (первоначальное название — ЗРС С-25) Е-600 называется осколочно-зажигательной БЧ. Конструктивно БЧ Е-600 представляла собой относительно короткий цилиндр (отношение длины БЧ к диаметру ~0,8), ограниченный с двух сторон плоскими крышками, которые, очевидно, прикреплялись к корпусу БЧ болтами (см. рис. 2). Продольный размер торцевых крышек БЧ, превышающий диаметр корпуса, судя по всему, обусловлен схемой крепления БЧ в соответствующем отсеке ЗУР. Готовые поражающие элементы (ГПЭ) в виде стальных цилиндров [13] были расположены на образующей цилиндрического корпуса БЧ. Число ГПЭ составляло около 2000 ед., и при этом не исключено, что в конструкции комбинировались цилиндры малых и больших масс [8]. Судя по схеме, представленной на рис. 2 [8], ГПЭ в процессе сборки БЧ размещали на корпусе БЧ, их фиксировали застывающим составом типа мастики, а затем закрывали листовым металлом.

Укладка ГПЭ могла выполняться в составе пеналов. Разрывной заряд (РЗ) представлял собой взрывчатое вещество (ВВ) литевого снаряжения. Можно предположить, что это мог быть не только тротил, но и взрывчатая смесь (ВС) на основе тротила с гексогеном типа ТГ или ТГА. В случае если БЧ снаряжается гексогенсодержащей ВС, перед установкой прокладок и крышки открытый торец РЗ заливался тротилом, образующим при застывании «пробку».

В конструкции ЗУР 205 боевая часть размещена за головным отсеком А (шар-баллоны автопилота (АП) и системы подачи топлива, РВ и аппаратура АП) и отсеком С<sub>1</sub> (рулевые машинки аэродинамических рулей) в отсеке В (см. рис. 3). За отсеком БЧ были размещены топливный отсек Е, приборный отсек С<sub>2</sub> и жидкостной ракетный двигатель (отсек D). Обозначения отсеков ЗУР других типов аналогичны.

Общая масса БЧ составляла 235 кг [10], а при использовании известных геометрических соотношений для БЧ Е-600 можно оценить и массу ВС, и коэффициент наполнения (отношение массы РЗ к массе БЧ). Для ВС ТГА-16 плотностью 1,67 г/см<sup>3</sup> масса РЗ составит

примерно 65 кг, и тогда коэффициент наполнения будет равен 0,27. Зная также диаметр ЗУР 205, равный 0,65 м, и доступные характеристики материала [8–11, 13], можно определить примерные габаритные размеры БЧ и ГПЭ.

Начальную скорость разлета ГПЭ можно оценить с помощью формулы Покровского — Гарни, приняв линейное распределение скорости продуктов детонации [15–18],

$$v_0 = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{\beta}{2 + \beta}}, \quad (1)$$

где  $v_0$  — начальная скорость разлета;  $D$  — скорость детонации ТГ-20, составляющая 8150 м/с [17];  $\beta$  — коэффициент нагрузки (отношение массы РЗ к массе осколочной оболочке БЧ).

При такой оценке можно получить начальную скорость ГПЭ, равную примерно 1180 м/с.

Примерные характеристики БЧ Е-600 [5, 8–11, 13, 15–18] представлены ниже:

Тип БЧ .....	ОФ (осколочно-зажигательная)
Диаметр днищ, м .....	~ 0,54
Диаметр корпуса, м .....	~ 0,5
Длина, м .....	~ 0,4
Общая масса БЧ (без ПИМ), кг .....	235
Тип ВВ/ВС (предположительный) .....	Тротил, ТГ, ТГА
Масса ВС, кг .....	~ 65
Коэффициент наполнения .....	~ 0,27
Количество ГПЭ .....	~ 2000
Материал ГПЭ .....	Сталь
Масса одного ГПЭ, г .....	~ 20
Размеры одного ГПЭ (диаметр/высота), мм .....	~ 15/15
Начальная скорость разлета ГПЭ, м/с (для ВС ТГА-16 при $\rho = 1,67 \text{ г/см}^3$ ) .....	~ 1180

Еще одной характерной особенностью БЧ Е-600 было наличие двух ПИМ и дополнительных детонаторов (предположительно, тетриловых). При этом один ПИМ (основной) вместе с шашкой дополнительного детонатора был расположен на оси симметрии БЧ, а другой ПИМ (дополнительный) с шашкой дополнительного детонатора — в стороне от основного. Скорее всего, такое решение было принято для повышения надежности срабатывания БЧ ввиду несовершенства первых ПИМ. При срабатывании БЧ образовывалось равномерное (ненаправленное) круговое поле ГПЭ.

Инициировалась БЧ через ПИМ по сигналу от активного РВ непрерывного излучения Е-601 [19], разработанного в ГНИИ-504 (в настоящее

время — ПАО «НПП “Импульс”») под руководством Н.С. Рас-  
торгуева (1920-1997) [5, 6, 10]. Сигнал на дополнительный ПИМ, види-  
мо, поступал с некоторой задержкой. Следует отметить, что в данном  
РВ элементы системы предохранения (предохранительный переключатель и предохранительные механизмы), механизм самоликвидации и замыкатель мгновенного действия с блоком подрывных конденсаторов конструктивно не были объединены в один блок [19, 20]. Предполагается, что принцип работы РВ Е-601 был основан на эффекте Доплера, а по структурной схеме РВ, работавший в сантиметровом диапазоне, представлял собой гетеродинный РВ с отдельными трактами приема и передачи и с отдельными антенными входами.

Полигонные испытания ЗУР 205 в 1953 году продемонстрировали в целом положительные результаты, хотя и выявилась недостаточная эффективность БЧ Е-600: она поражала цель при пролете не далее 25...30 м (50 м, согласно [13]) вместо требуемых 75 м. Для гарантированного поражения самолета типа Ту-4 (стратегический бомбардировщик, аналог американского бомбардировщика В-29 Superfortress) были необходимы, как правило, две-три ЗУР 205 [11]. Поэтому требовалось создание более эффективной БЧ.

**БЧ В-196.** Вследствие недостаточной эффективности ЗУР 205, оснащенной БЧ Е-600, было принято решение создать для новой ЗУР 207А (рис. 4) [10] БЧ с большей эффективностью действия. Поэтому были разработаны и испытаны три варианта БЧ: две — кумулятивно-го действия и одна — ОФ направленного действия [10, 11].

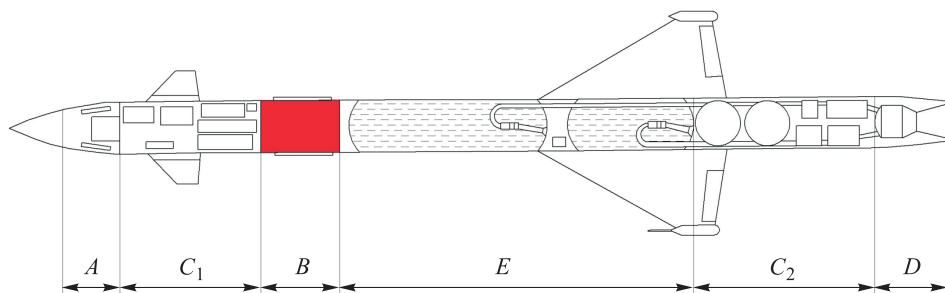


Рис. 4. Сема ЗУР 207А, отсек БЧ окрашен

По результатам испытаний на вооружение была принята мультикумулятивная БЧ, получившая индекс В-196 (рис. 5) [20, 21]. Эта БЧ была разработана в НИИ-6 коллективом, возглавляемым ГК Н.С. Житких (1909–1982), выпускником Московского отделения Ленинградского заочного индустриального института при МИХМе (в настоящее время — МГУИЭ), при участии инженера-конструктора Я.В. Каплана в 1955 г. [5, 10, 14]. БЧ состояла из 196 одиночных дальнобойных кумулятивных зарядов (КЗ) (см. рис. 5) с индексом

ЖСБ-00, расположенных радиально вокруг оси инициирования (14 рядов по 14 КЗ в каждом) [20]. При этом центральные КЗ располагались перпендикулярно оси БЧ, а торцевые имели некоторый наклон к оси в направлении к центру БЧ, по-видимому, увеличивающийся до  $5^\circ$  по мере приближения к торцу БЧ. Кроме того, каждый круговой ряд КЗ был повернут относительно предыдущего на  $1-2^\circ$  [20, 21]. Такое конструктивное решение, возможно, было принято с целью создания поля поражения большей плотности у центра БЧ, а также повышения вероятности поражения цели.

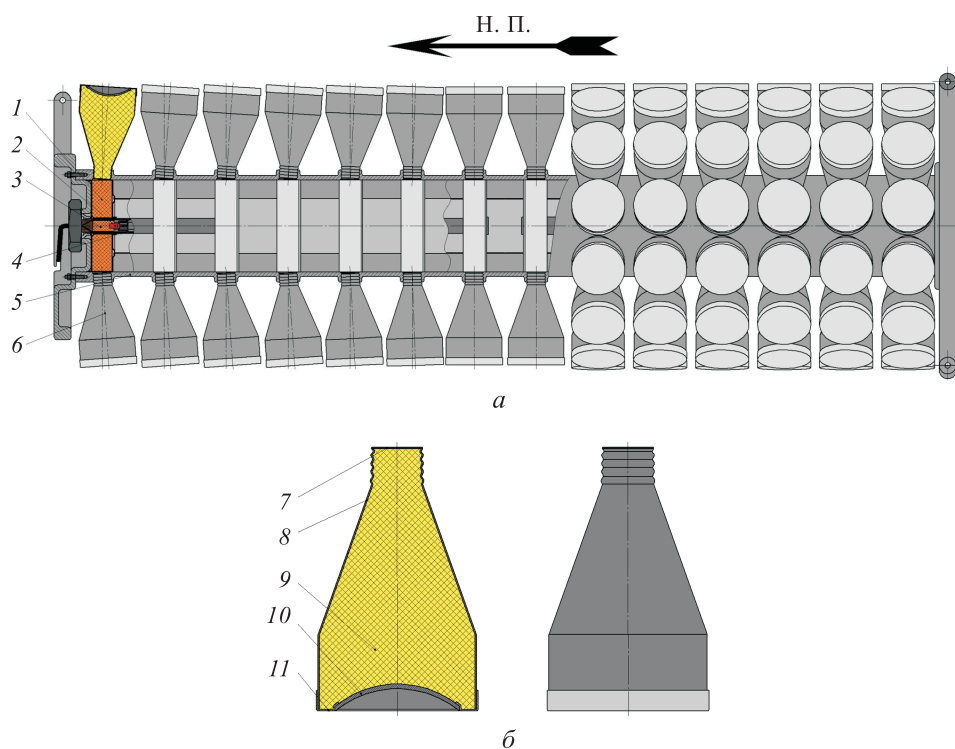


Рис. 5. Конструктивно-компоновочная схема БЧ В-196 и КЗ ЖСБ-00:

1 — передаточный детонатор; 2 — электродетонатор; 3 — основной детонатор; 4 — боевая трубка БН-7; 5 — труба БЧ; 6 — КЗ ЖСБ-00; 7 — прокладка; 8 — корпус КЗ; 9 — РЗ; 10 — кумулятивная облицовка; 11 — прижимная крышка; Н.П. — направление полета ЗУР

Каждый КЗ состоял из цилиндро-конического корпуса, РЗ (наиболее вероятно применение ВС типа ТГ), сегментной облицовки (предположительно стальной) и прижимной крышки (см. рис. 5). Кумулятивные заряды крепились к трубе БЧ посредством резьбового соединения, выполненного на корпусах КЗ и на внутренних поверхностях гнезд трубы. От гнезд отходили специальные каналы, в которых устанавливали передаточные детонаторы (вероятно, тетриловые шашки), упирающиеся в центральную трубу, где находилось

иницирующее устройство — боевая трубка БН-7. Поскольку диаметр ЗУР 207А составлял 0,65 м и был использован материал из [20, 21], можно оценить габариты БЧ В-196 и КЗ ЖСБ-00, а также определить для них коэффициент наполнения. Основные характеристики БЧ В-196 и КЗ ЖСБ-00 [20, 21] вместе с результатами проведенных оценок приведены ниже:

Тип БЧ .....	Мультикумулятивная
Диаметр БЧ (наибольший), м .....	~ 0,54
Длина БЧ, м .....	~ 1,6
Общая масса БЧ, кг .....	327
Тип ВС (предположительный) .....	ТГ
Общая масса ВС, кг .....	221
Количество КЗ .....	196
Диаметр КЗ (наибольший), мм .....	~ 100
Высота КЗ, мм .....	~ 190
Масса КЗ, кг .....	~ 1,6
Масса ВС одиночного КЗ, кг .....	1,132
Тип облицовки КЗ .....	Сегментная
Толщина облицовки КЗ, мм .....	~ 5
Прогиб облицовки КЗ, мм .....	~ 10
Материал облицовки (предположительный) .....	Сталь
Коэффициент наполнения БЧ .....	0,67
Коэффициент наполнения одиночного КЗ .....	~ 0,7
Начальная скорость струи, м/с .....	3600-3800

Боевая трубка БН-7 представляла собой помещенную в цилиндрический корпус электрическую цепь параллельно соединенных электродетонаторов (по-видимому, искровых), установленных в шашки основных детонаторов (вероятно, тетриловых). Такая конструкция боевой трубки обеспечивала срабатывание всех КЗ с минимальным временным разбросом. Осевое инициирование БЧ осуществлялось посредством двух боевых трубок БН-7 (очевидно, левой и правой). При подрыве БЧ образовывалось круговое поле поражения, составленное низкоградиентными кумулятивными струями с начальными скоростями 3600...3800 м/с. Следует отметить, что использование в КЗ сегментных облицовок вместо уже отработанных к тому времени конических стало для нашей страны важным шагом вперед в становлении направления взрывного формирования компактных поражающих элементов [20, 21].

Отсек БЧ ЗУР 207А был выполнен с двойной обшивкой. Внутренняя обшивка имела отверстия в зонах напротив КЗ, чтобы корпус не препятствовал формированию кумулятивной струи. Эти отверстия

прикрывались тонкой наружной обшивкой. При обслуживании ЗУР БЧ в рамках эксплуатационных мероприятий для обеспечения доступа к люку БЧ надлежало нижний и правый рули ЗУР 207А выводить в отклоненное положение [10].

В 1957 г. (после принятия на вооружение БЧ В-196) от министерства обороны США появился секретный патент № 3998162 «Боевая часть управляемой ракеты» (Missile war heads), рассекреченный лишь в 1976 г. (рис. 6) [22]. В патенте также приведена мультикумулятивная БЧ, но для одновременного инициирования КЗ в ней использовалась детонационная разводка.

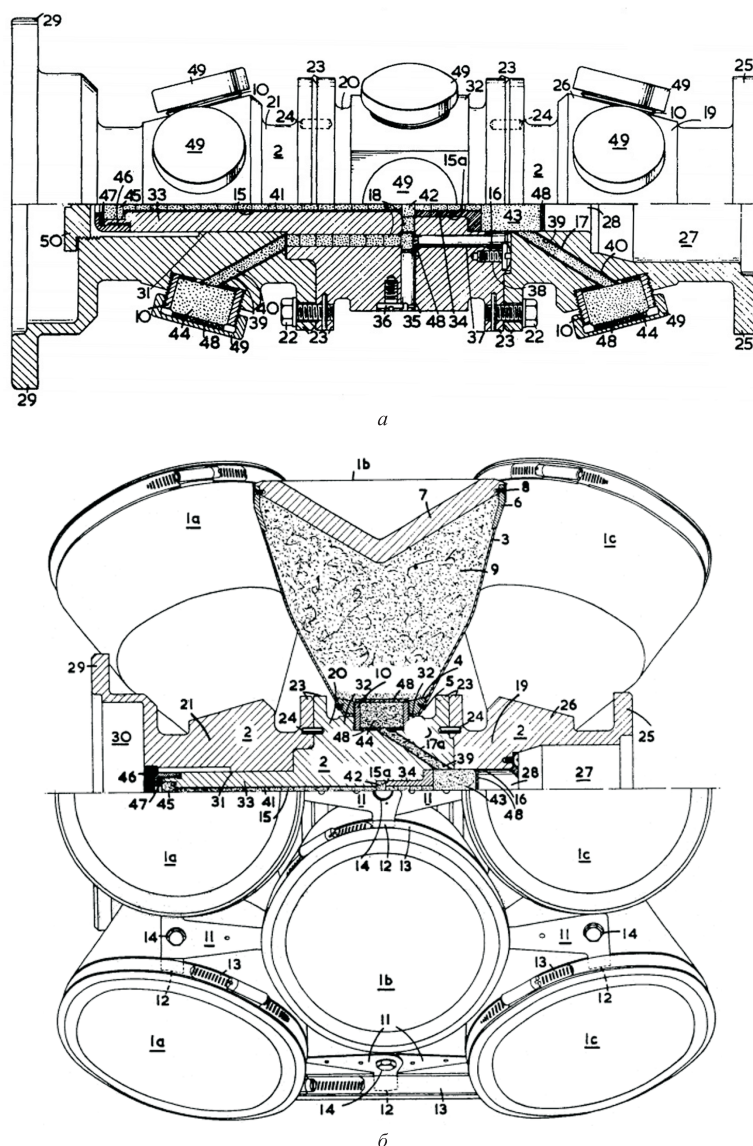


Рис. 6. Схема боевой части управляемой ракеты (США):  
а — вид БЧ без КЗ; б — вид БЧ с КЗ



В то же время авторы патента (Thomas Percy Forrest, William Ernest Soper, Donald McKenzie) отмечали, что для одновременного инициирования КЗ предпочтительнее применять цепь электродетонаторов [22]. Предусматривалось использование низкой конической облицовки в КЗ, по-видимому, для формирования низкоградиентной кумулятивной струи или компактного поражающего элемента. Очевидно, решение аналогичных задач в СССР и США стало причиной появления схожих технических решений в данной отрасли.

Для инициирования новой БЧ был разработан РВ Е-501 (другое обозначение — 515) с радиусом реагирования 75 м, который представлял собой малогабаритный радиолокатор непрерывного излучения, использующий эффект Доплера, с дополнительным устройством для подрыва БЧ. Этот РВ имел три ступени предохранения, включенные последовательно в цепь подрыва электрозапалов. РВ Е-501 срабатывал от сигнала, отраженного целью, при ее появлении в области срабатывания РВ [10, 20].

Принципиально РВ Е-501 отличался от РВ ЗУР 205 следующим [20]:

- введен блок подрывных конденсаторов мгновенного действия;
- с  $60^\circ$  на  $73^\circ$  изменен угол наклона максимума главного лепестка диаграммы направленности антенных систем к оси ракеты в плоскости, проходящей через ось ЗУР.

Такие изменения РВ определялись особенностями действия мультикумулятивной БЧ В-196. Следовательно, РВ Е-501 можно классифицировать как активный доплеровский РВ. Структурная схема Е-501 представляла собой гетеродинный РВ с отдельными трактами приема и передачи, имеющий отдельные антенные входы [20]. Предположительно, взрыватель работал в сантиметровом диапазоне длин волн.

В 1955 г. для оценки эффективности действия ЗУР 207А с БЧ В-196 были проведены стрельбовые испытания [20] по самолетам-мишеням Ил-28 (фронтальной бомбардировщик) и Ту-4, в том числе испытания при стрельбе:

- по низколетящей цели;
- по целям на средних высотах;
- по маневрирующей цели;
- с ручным сопровождением цели;
- по парашютным мишеням,

а также испытания при пониженной точности попадания.

Из 14 самолетов-мишеней 12 были сбиты одной ЗУР, а два получили повреждения. Согласно отчету о государственных испытаниях ЗУР 207А [20], кумулятивные струи, попадая в самолет, вызвали воспламенение топлива, разрушение силовых элементов его конструкции, приводящее к его разрушению в воздухе, повреждали двигательные установки и органы управления. Была отмечена высокая

воспламеняющая способность кумулятивных струй при попадании их в топливные баки: из 12 сбитых самолетов 10 загорелись в воздухе (девять Ил-28 и один Ту-4). В отчете [20] указано, что согласованность в ЗУР 207А РВ Е-501 и БЧ В-196 была значительно лучше, чем РВ и БЧ в ЗУР 205. Полигонные испытания показали, что эффективность мультикумулятивных БЧ В-196 ЗУР 207А оказалась в 1,5 раза выше, чем у БЧ Е-600 ЗУР 205. Это обеспечивало надежное уничтожение целей при срабатывании БЧ ЗУР в 50 м от цели [11].

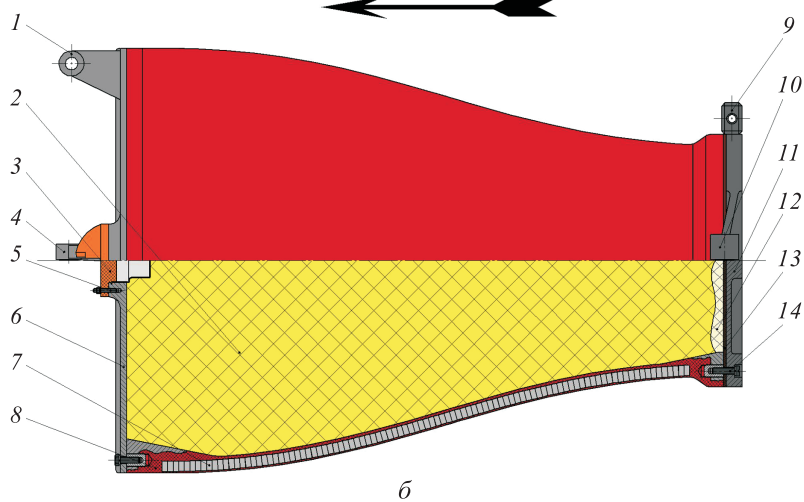
**БЧ НОД-207А.** В связи с тем что кумулятивная БЧ В-196 в составе ЗУР 207А не обеспечивала гарантированного поражения бомбардировщиков при допустимых промахах до 75 м, возникла необходимость разработки новой БЧ. В это время конструкторскому коллективу из ГСКБ-47 (в настоящее время — АО «НПО «Базальт»»), возглавляемому К.И. Козорезовым (1920–2006), выпускником КХТИ им. С.И. Кирова (в настоящее время — КНИТУ) [5, 14], удалось разработать новую ОФ БЧ, получившую индекс НОД-207А. Разработчики предполагали, что конструкция данной БЧ позволит создать направленное поле поражения [11]. С декабря 1955 г. по февраль 1956 г. на полигоне «С» были проведены летные испытания ЗУР 207А с БЧ НОД-207А со стрельбой по самолетам-мишеням Ту-4 и Ил-28. Испытания показали, что новая БЧ обеспечивала надежное поражение самолетов-бомбардировщиков типа Ту-4 и Ил-28 при промахах до 84 м от цели. Таким образом, был гарантирован расход не более одной ЗУР на поражение одной цели, что соответствовало полному выполнению основного требования технического задания. В связи с этим после испытаний новая БЧ НОД-207А сразу была запущена в серийное производство, а вариант ЗУР с этой БЧ, по-видимому, получил обозначение 207А3 [11, 23]. Предполагается, что команда на подрыв БЧ поступала от доплеровского РВ непрерывного излучения Е-501 (515), рассмотренного ранее. С большой долей уверенности можно предположить, что БЧ НОД-207А являлась также первой принятой на вооружение в СССР ОФ БЧ ЗУР, в которой предполагалась реализация направленного поля поражения.

**БЧ Ф-280.** Осколочно-фугасная БЧ Ф-280 (рис. 7) [24, 25] была разработана в НИИ-6 для ЗУР 217М (рис. 8) [5] в качестве замены не прошедшей испытания БЧ Ф-260 [11, 23–26, 29]. Разработку Ф-280, как и всех других БЧ, за исключением НОД-207А, курировал заместитель директора НИИ-6 М.И. Воротовов (1912–1977), выпускник МХТИ им. Д.И. Менделеева (в настоящее время — РХТУ им. Д.И. Менделеева).



*a*

Н. П.



**Рис. 7.** Боевая часть Ф-280:

*a* — учебный экземпляр из демонстрационно-музейного зала кафедры «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана; *б* — конструктивно-компоновочная схема (1, 9 — проушины; 2 — РЗ; 3 — заглушка; 4, 10 — стыковочные лапы; 5 — шпилька; 6 — дно; 7 — ГПЭ; 8 — корпус; 11 — крышка; 12 — тротиловая «пробка»; 13 — прокладки; 14 — болт; Н.П. — направление полета ЗУР)

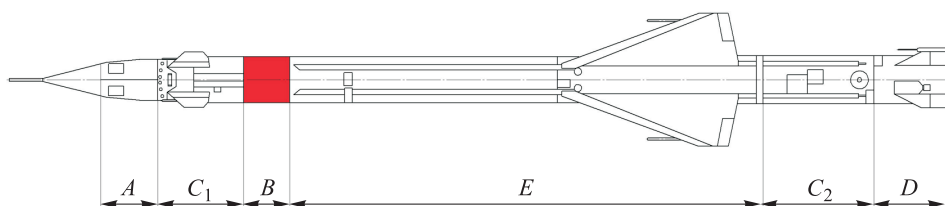


Рис. 8. Схема ЗУР 217М, отсек БЧ закрашен

Предполагается, что форма БЧ Ф-280 обусловлена влиянием БЧ НОД-207А, так как в данной БЧ также планировалось реализовать направленное поле поражения. Основными элементами БЧ Ф-280 были корпус, дно, крышка и РЗ (см. рис. 7). Корпус представлял собой силовой элемент БЧ — оболочка, изготовленная из стальных ГПЭ в форме прямоугольных параллелепипедов размером  $7 \times 7 \times 13$  мм, удерживаемых компаундом [24, 25].

Стеклопластик был образован несколькими слоями стеклотенты, пропитанной эпоксидным компаундом с последующей полимеризацией. ГПЭ были уложены в один ряд с ориентацией длинных граней поперек оси симметрии БЧ и скреплены между собой эпоксидным компаундом [24, 25]. Поскольку БЧ имела сложную форму из-за криволинейной образующей, можно предположить, что ГПЭ укладывали вручную. Особенностью данной БЧ стало то, что в ней материалом основной несущей конструкции был стеклопластик, а не металл [24, 25]. Принцип конструирования корпусов БЧ на базе использования эпоксидных стеклопластиков с ГПЭ был разработан сотрудником НИИ-6 Е.Н. Ивановым [14].

Корпус БЧ имел форму усеченного конуса с образующей в виде кривой переменного радиуса. Для крепления дна и крышки на его торцах были предусмотрены кольцевые утолщения с отверстиями. Дно и крышка имели радиальные ребра жесткости, расположенные с наружной стороны корпуса, а также размещенные по бокам две стыковочные лапы с отверстиями, в которых были развальцованы втулки для стыковки БЧ с отсеком ЗУР. В верхних частях дна и крышки находились проушины для подъема БЧ. Для обеспечения герметичности корпуса БЧ установку дна и крышки на торцы корпуса выполняли с применением эпоксидного компаунда, а затем их крепили шестнадцатью болтами каждую.

В центре дна был выполнен прилив с гнездом, заканчивавшийся стаканом для установки ПИМ ВДМ-8. В прилив были ввинчены четыре шпильки с гайками для крепления ПИМ ВДМ-8 или заглушки. РЗ массой 171 кг представлял собой литой ВС ТГ-20 (80 % гексогена, 20 % тротила) [24, 25, 27]. Общая масса БЧ Ф-280 составляла 280 кг,

а коэффициент наполнения был равен 0,61. При установке крышки также создавалась тротиловая «пробка». Основные характеристики БЧ Ф-280 [24, 25, 27] представлены ниже:

Тип БЧ .....	ОФ направленного действия
Диаметр переднего торца, м .....	0,596
Диаметр заднего торца, м .....	0,55
Длина, м .....	0,87
Общая масса БЧ, кг .....	280
Тип ВС .....	ТГ-20
Масса ВС, кг .....	171
Коэффициент наполнения .....	0,61
Количество ГПЭ .....	~ 18 500
Материал ГПЭ .....	Сталь
Масса одного ГПЭ, г .....	5
Размеры одного ГПЭ, мм (предположительно) .....	7×7×13
Начальная скорость разлета ГПЭ, м/с .....	~ 2500

Боевая часть Ф-280 поражала воздушные цели полем одинаковых стальных ГПЭ, а на близких расстояниях цели поражались совместным осколочным и фугасным действием [24]. РЗ БЧ детонировал по команде, поступающей с РВ Е-802М (или Е-802М-И) на ПИМ ВДМ-8 [23, 27, 28]. В момент взрыва под действием расширяющихся продуктов детонации ГПЭ разлетались с образованием кругового и направленного в сторону полета ЗУР осколочного поля поражения, которое имело форму, близкую к усеченному конусу [21]. При этом большая часть ГПЭ сосредотачивалась в секторе с углом 22°, отклоненном от оси ЗУР примерно на 70° [29, 30].

Радиовзрыватель Е-802М-И обеспечивал эффективное поражение при большом диапазоне скоростей ЗУР и цели, а также при различных углах встречи и при промахах до 75 м по самолету Ил-28 и до 60 м при промахах по самолету МиГ-17 (истребитель). Он являлся активным РВ, реализующим импульсный принцип выделения сигнала и работавшим в сантиметровом диапазоне длин волн. Структурная схема Е-802М-И представляла собой гетеродинный РВ с отдельными трактами приема и передачи сигнала, имеющим отдельные антенные входы [28].

**Заключение.** БЧ ЗУР, принятые на вооружение перед постановкой ЗРС С-25 на боевое дежурство, а также в ходе первых двух этапов модернизации, продемонстрировали, что для стратегической зенитной ракетной системы БЧ ЗУР выполняются, как правило, по схеме БЧ с ГПЭ и относительно большой массой РЗ, а ее несущая

конструкция может быть изготовлена из композиционного материала (Ф-280). Кроме того, было установлено, что БЧ ЗУР могут быть выполнены по мультикумулятивной схеме с использованием принципа промежуточной или обратной кумуляции, позволяющим формировать поле компактных скоростных поражающих элементов, аналогичное полю ГПЭ (В-196). Анализ зарубежных работ по данной теме позволил убедиться в реализуемости данной схемы (патент США № 3998162).

Восстановленные конструктивно-компоновочные схемы первых отечественных БЧ ЗУР и оценка их характеристик наглядно демонстрируют эволюцию их развития, а также принципиальные отличия от других видов боеприпасов:

- большая масса БЧ, характерная для крупнокалиберных боеприпасов;
- использование мощных и дорогих ВС;
- использование сложных взрывательных устройств, состоящих из активных или полуактивных, неконтактных или неконтактно-контактных датчиков цели и ПИМ, соединенного с БЧ в одном отсеке;
- большая технологическая сложность изготовления корпусов;
- наличие развитых стыковочных элементов для закрепления БЧ к ЗУР;
- использование в конструкции такелажных элементов для реализации транспортировки БЧ к ЗУР.

Конструктивные схемы, обычно содержащиеся в работах, которые посвящены БЧ ЗУР, носят в большинстве условный характер (см. рис. 1), что не может дать представления ни о боевых возможностях БЧ, ни о названных особенностях конструкции [1–4, 13]. Кроме того, конструкции БЧ приводятся в отрыве от конструкции ЗУР и без взрывательного устройства, как одной из составляющих боевого снаряжения ракеты. В настоящей статье реализован востребованный при изучении и разработке современных эффективных БЧ ЗУР системный подход, включающий все элементы боевого снаряжения и носитель.

Авторы выражают благодарность выпускнику кафедры «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана А.А. Мельцеву, принимавшему участие в сборе и анализе материалов и информации о ЗРС С-25.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Белов А. Боевые части ракет для поражения воздушных целей. *Зарубежное военное обозрение*, 1987, № 2, с. 52–55.
- [2] Одинцов В. Осколочные боевые части ракет: перспективы развития. *Военный парад*, 1998, № 4 (28), с. 60–62.

- [3] Одинцов В. Боевые части зенитных управляемых ракет. *Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра*, 2001, № 3, с. 16–20.
- [4] Курепин А.Е., Кузнецов И.А. *Основы проектирования боевых частей управляемых ракет*. И.О. Артамонов, ред. Дзержинск, АО «ГосНИИмаш», 2018, 368 с.
- [5] Ганин С.М. Первая отечественная зенитная ракетная система ПВО Москвы — С-25 «Беркут». *Невский бастион. Военно-технический сборник*, 1997, № 2, с. 25–32.
- [6] *Зенитный ракетный комплекс С-25 «Беркут» (SA-1 Guild)*. URL: <http://pvo.guns.ru/s25/s25.htm> (дата обращения 18.12.2018).
- [7] Ладов С.В., сост. Кафедра «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана. *80 лет вместе. 1938–2018*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018, 462 с.
- [8] Куксенко П.Н. *Технический проект. Раздел I. Общая характеристика комплекса ПВО «Беркут». 1951 г.* URL: <http://historykpvo.narod2.ru> (дата обращения 16.12.2018).
- [9] *Памятник «Ракета В-300». Зенитно-ракетная система С-25 «Беркут». Изделие «217м» зав. № 6222618/6222655*. URL: <http://c-25.su/> (дата обращения 18.12.2018).
- [10] Ангельский Р. Ракетные леса Подмосковья. *Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра*, 2002, № 3, с. 9-14.
- [11] Серов Г.П. *В-300 — наша первая зенитная ракета*. URL: <https://aviator.guru/blog/43701467987/V-300-%E2%80%93-nasha-pervaya-zenitnaya-raketa> (дата обращения 17.12.2018).
- [12] Василин Н.Я., Гуринович А.Л. *Зенитные ракетные комплексы: справочник*. Минск, Изд-во «Попурри», 2002, 463 с.
- [13] Архангельский И.И., Афанасьев П.П., Голубев Е.Г. и др. *Проектирование зенитных управляемых ракет*. И.С. Голубев, В.Г. Светлов, ред. 2-е изд., перераб. и доп. Москва, Изд-во МАИ, 2001, 732 с.
- [14] Специалисты по взрывчатым материалам, пиротехнике и боеприпасам. *Биографическая энциклопедия*. Москва, «АвиаРус-XXI», 2006, 704 с.
- [15] Рассоха С.С., Селиванов В.В. *Осколочное действие боеприпасов*. В.В. Селиванов, ред. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018, 209 с.
- [16] Пироправка. *Справочник по взрывчатым веществам, порохам и пиротехническим составам*. 6-е изд. Москва, 2012, 310 с. URL: <https://docplayer.ru/25882729-Pirospravka-spravochnik-po-vzryvchatym-veshchestvam-poroham-i-pirotehnikeskim-sostavam.html> (дата обращения 20.04.2019).
- [17] Орленко Л.П., ред. *Физика взрыва*, в 2 т. Изд. 3-е, испр. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2004, т. 2: 656 с.
- [18] Селиванов В.В., ред. *Боеприпасы*, в 2 т. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016, т. 1: 506 с.
- [19] *Система противовоздушной обороны г. Москвы*. URL: <http://historykpvo.narod2.ru> (дата обращения 25.04.2019).
- [20] *Отчет о государственных испытаниях ракеты В-300 (типа 207А) в комплексе Б-200, В-300 системы 25. 1955 г.* URL: <http://historykpvo.narod2.ru> (дата обращения 19.12.2018).
- [21] *Макеты ЗУР системы С-25 в музее НПО имени С.А. Лавочкина*. URL: [http://www.missiles.ru/foto\\_S-25.htm](http://www.missiles.ru/foto_S-25.htm) (дата обращения 19.12.2018).
- [22] Forrest T.P., Soper W.E., McKenzie D. *Missile warheads*. Pat. 3998162 US. F42B13/10, F42B12/14. (USA) no. 761442. Application 17.09.1957, Publ. 21.12.1976, US3998162A. URL:



- <https://pdfpiw.uspto.gov/piw?PageNum=0&docid=03998162&IDKey=C947D92469DC%0D%0A&HomeUrl=http%3A%2F%2Fpatft.uspto.gov%2Fnetacgi%2Fnp-Parser%3Fsect1%3DPTO1%2526sect2%3DHITOFF%2526d%3DPALL%2526p%3D1%2526u%3D%2526fnethtml%2526fpto%2526fsrcnum.htm%2526r%3D1%2526f%3DG%2526l%3D50%2526s1%3D3998162.PN.%2526OS%3DPN%2F3998162%2526RS%3DPN%2F3998162>, (дата обращения 24.03.2019).
- [23] Многоканальные стационарные зенитные ракетные комплексы ПВО. *Военный паритет*. URL: [http://www.militaryparitet.com/nomen/russia/rocket/rocketcomplex/data/ic\\_nom enrussiarocketrocketcomplex/4/](http://www.militaryparitet.com/nomen/russia/rocket/rocketcomplex/data/ic_nom enrussiarocketrocketcomplex/4/) (дата обращения 10.04.2019).
- [24] *Ракета 217М. Техническое описание. Книга 1: устройство ракеты. Общие сведения*. Москва, Воениздат, 1981, 129 с. URL: <http://historykpvo.narod2.ru> (дата обращения 19.12.2018).
- [25] Демонстрационно-музейный зал кафедры «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва, 2021.
- [26] Ангельский Р. Ракетные леса Подмосковья. *Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра*, 2002, № 4, с. 13-18.
- [27] *Зенитный стационарный комплекс С-25 (альбом с характеристиками)*. URL: <http://historykpvo.narod2.ru> (дата обращения 10.12.2018).
- [28] *Ракета 217М. Техническое описание. Книга 4: радиовзрыватель Е-802М-II*. Москва, Воениздат, 1982, 113 с. URL: <http://historykpvo.narod2.ru> (дата обращения 19.12.2018).
- [29] *Совокупность научно-исследовательских, опытно-конструкторских и испытательных работ по коренному расширению тактико-технических характеристик и боевых возможностей систем ЗУРО С-25 и С-75 и созданию методов исследования систем ЗУРО (фотоиллюстрации)*. URL: <http://historykpvo.narod2.ru> (дата обращения 25.04.2019).
- [30] *Альбом иллюстраций изделия 5Я25 (Акт по совместным испытаниям ракеты 5Я25 в составе огневого комплекса системы-25М. Альбом иллюстраций. 1967 г.)*. URL: <http://historykpvo.narod2.ru> (дата обращения 15.12.2018).

Статья поступила в редакцию 30.07.2021

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Метельский А.О., Марков В.А., Пусев В.И. О боевых частях зенитных управляемых ракет зенитной ракетной системы С-25. Часть 1. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2022, вып. 2. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2022-2-2152>

**Метельский Александр Олегович** — аспирант кафедры «Высокоточные летательные аппараты», МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор шести работ в области боевых частей зенитного управляемого ракетного оружия. Область интересов: конструкция и действие средств поражения и боеприпасов, физика взрыва и удара. e-mail: [metelskiy@bmstu.ru](mailto:metelskiy@bmstu.ru)

**Марков Владимир Александрович** — заведующий лабораторией кафедры «Высокоточные летательные аппараты», МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 300 научных работ в области физики взрыва и удара. e-mail: [markovva@bmstu.ru](mailto:markovva@bmstu.ru)

**Пусев Владимир Иванович** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Высокоточные летательные аппараты», МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 300 научных работ в области физики взрыва и удара. e-mail: [pusevvi@bmstu.ru](mailto:pusevvi@bmstu.ru)

## On the warheads of anti-aircraft guided missiles of the S-25 anti-aircraft missile system. Part 1

© A.O. Metelsky, V.A. Markov, V.I. Pusev

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

*The paper introduces the results of studying the designs of warheads of anti-aircraft guided missiles. Warheads of V-300 anti-aircraft guided missiles of the S-25 anti-aircraft missile system were taken as an example. The analysis of information from open sources allowed restoring the design and layout diagrams of the warheads and assessing their combat characteristics, which made it possible to explore different types of warheads and identify their common design features. In addition, a wide range of warheads of V-300 anti-aircraft guided missiles demonstrates the general patterns of their development in terms of the evolution of the warheads of anti-aircraft guided missiles as a special type of ammunition. Besides common elements, the study highlights individual design features of each product and also describes other combat equipment that combines a warhead and an explosive device: safety actuators and radio fuses. Within the study, we implemented a systematic approach, so carriers, i.e. anti-aircraft guided missiles, were also taken into account.*

**Keywords:** anti-aircraft guided missile, high-explosive fragmentation warhead, explosive, preformed fragments, multicumulative warhead, shaped charge, electric detonator, safety-and-arming mechanism, directional warhead, radio fuse

### REFERENCES

- [1] Belov A. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie (Foreign military review)*, 1987, no. 2, pp. 52–55.
- [2] Odintsov V. *Voenny parad (Military parade)*, 1998, no. 4 (28), pp. 60–62.
- [3] Odintsov V. *Tekhnika i vooruzheniye vchera, segodnya, zavtra (Technology and weapons yesterday, today, tomorrow)*, 2001, no. 3, pp. 16–20.
- [4] Kurepin A.E., Kuznetsov I.A. *Osnovy proektirovaniya boevykh chastey upravlyaemykh raket* [Fundamentals of the design of guided missile warheads]. Dzerzhinsk, JSC Institute of Mechanical Engineering imeni V.V. Bakhireva Publ., 2018, 368 p.
- [5] Ganin S.M. *Nevskiy bastion. Voенno-tekhnicheskiy sbornik — Military-technical collection «Nevsky Bastion»*, 1997, no. 2, pp. 25–32.
- [6] *Zenitny raketny kompleks S-25 “Berkut” (SA-1 Guild)* [Anti-aircraft missile system S-25 “Berkut” (SA-1 Guild)]. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 18, 2018).
- [7] Ladov S.V. *Kafedra “Vysokotochnye letatelnye apparaty” MGTU im. N.E. Bauman. 80 let vmeste. 1938–2018* [Department of High-Precision Airborne Devices, Bauman Moscow State Technical University. Together for 80 years. 1938-2018]. Moscow, BMSTU Publ., 2018, 462 p.
- [8] Kuksenko P.N. *Tekhnicheskiy proekt. Razdel I. Obshaya kharakteristika kompleksa PVO “Berkut”. 1951 g.* [Technical project. Section 1: General characteristics of the air defense system “Berkut”. 1951]. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 16, 2018).
- [9] *Pamyatnik “Raketa V-300”. Zenitno-raketnaya Sistema S-25 “Berkut”. Izdelie “217m” zav No. 6222618/6222655* [Monument “Rocket V-300”. Anti-aircraft missile system S-25 “Berkut”. Product “217m” No. 6222618/6222655]. Available at: <http://c-25.su/> (accessed December 18, 2018).

- [10] Angelskiy R. *Tekhnika i vooruzheniye vchera, segodnya, zavtra (Technology and weapons yesterday, today, tomorrow)*, 2002, no. 3, vol. 3, pp. 9–14.
- [11] Serov G.P. *V-300 — nasha pervaya zenitnaya raketa* [V-300 is our first anti-aircraft missile]. Available at: <https://aviator.guru/blog/43701467987/V-300-%E2%80%93-nasha-pervaya-zenitnaya-raketa> (accessed December 17, 2018).
- [12] Vasilin N.Y., Gurinovich A.L. *Zenitnye raketnye kompleksy: spravochnik* [Anti-aircraft missile systems: directory]. Minsk, Poppuri Publ., 2002, 463 p.
- [13] Arkhangel'skiy I.I., Afanasev P.P., Golubev E.G., et al. *Proektirovanie zenitnykh upravlyayemykh raket* [Design of anti-aircraft guided missiles]. Moscow, MAI Publ., 2001, 732 p.
- [14] Spetsialisty po vzryvchatym materialam, pirotehnike i boepripasam [Specialists in explosives, pyrotechnics and ammunition]. *Biograficheskaya entsiklopediya* [Biographical encyclopedia]. Moscow, AviaRus-XXI Publ., 2006, 704 p.
- [15] Rassokha S.S., Selivanov V.V. *Oskolochnoe deystvie boepripasov* [Fragmentation effect of ammunition]. Moscow, BMSTU Publ., 2018, 209 p.
- [16] *Pirospravka. Spravochnik po vzryvchatym veshchestvam, porokham i pirotehnicheskim sostavam* [Handbook of explosives, gunpowders and pyrotechnic compounds]. Available at: <https://docplayer.ru/25882729-Pirospravka-spravochnik-po-vzryvchatym-veshchestvam-porokham-i-pirotehnicheskim-sostavam.html> (accessed April 20, 2019).
- [17] Orlenko L.P. *Fizika vzryva* [Explosion physics]. In 2 vols, vol. 2. 3<sup>rd</sup> ed., rev. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2004, 656 p.
- [18] Selivanov V.V., ed. *Boepripasy*. [Ammunition]. In 2 vols, vol. 1. Moscow, BMSTU Publ., 2016, 506 p.
- [19] *Sistema protivovozdushnoy oborony g. Moskvy* [Moscow air defense system]. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed April 25, 2019).
- [20] *Otchet o gosudarstvennykh ispytaniyakh rakety V-300 (tipa 207A) v komplekse B-200, V-300 sistemy 25. 1955 g.* [Report on the state tests of the V-300 missile (type 207A) in the B-200 V-300 complex, system 25. 1955]. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 19, 2018).
- [21] *Makety ZUR sistemy S-25 v myzee NPO im. Lavochkina* [Anti-aircraft missile S-25 models in the NPO Lavochkin museum]. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 19, 2018).
- [22] Forrest T.P., Soper W.E., McKenzie D. *Missile warheads*. Pat. 3998162 US. F42B13/10, F42B12/14. (USA) no. 761442. Application 17.09.1957, Publ. 21.12.1976, US3998162A. Available at: <https://pdfpiw.uspto.gov/piw?PageNum=0&docid=03998162&IDKey=C947D92469DC%0D%0A&HomeUrl=http%3A%2F%2Fpatft.uspto.gov%2Fnetacgi%2Fnp-Parser%3FSect1%3DPTO1%2526Sect2%3DHITOFF%2526d%3DPALL%2526p%3D1%2526u%3D%25252Fnethtml%25252FPTO%25252Fsrchnum.htm%2526r%3D1%2526f%3DG%2526l%3D50%2526s1%3D3998162.PN.%2526OS%3DPN%2F3998162%2526RS%3DPN%2F3998162> (accessed March 24, 2019).
- [23] *Mnogokanalnye stacionarnye zenitnye raketnye kompleksy PVO* [Multichannel stationary anti-aircraft missile defense systems]. *Voenny paritet* [Military parity]. Available at: [http://www.militaryparitet.com/nomen/russia/rocket/rocketcomplex/data/ic\\_nom\\_enussiarrowrocketcomplex/4/](http://www.militaryparitet.com/nomen/russia/rocket/rocketcomplex/data/ic_nom_enussiarrowrocketcomplex/4/) (accessed April 10, 2019).
- [24] *Raketa 217M. Tekhnicheskoe opisaniye. Kniga 1: ustroystvo rakety. Obshie svedeniya* [Missile 217M. Technical description. Book 1: rocket device. General information]. Moscow, Voenizdat Publ., 1981, 129 p. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 19, 2018).

- [25] *Demonstratsyonno-muzeynyy zal kafedry "Vysokotochnye letatelnye apparaty" MGTU im. N.E. Baumana* [Demonstration and museum hall of the Department SM4 "High-Precision Airborne Devices" of Bauman Moscow State Technical University]. Moscow, 2021.
- [26] Angelskiy R. *Tekhnika i vooruzheniye vchera, segodnya, zavtra (Technology and weapons yesterday, today, tomorrow)*, 2002, no. 4, vol. 2, pp. 13–18.
- [27] *Zenitny statsionarny kompleks S-25 (albom s kharakteristikami)* [Anti-aircraft stationary complex S-25 (album with characteristics)]. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 10, 2018).
- [28] *Raketa 217M. Tekhnicheskoe opisaniye. Kniga 4: radiovzryvatel E-802M-II* [Missile 217M. Technical description. Book 4: radio fuse E-802M-II]. Moscow, Voenizdat Publ., 1982, 113 p. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 19, 2018).
- [29] *Sovokupnost nauchno-issledovatel'skikh, opytno-konstruktorskikh i ispytatelnykh rabot po korennomu rashireniyu taktiko-tekhnicheskikh kharakteristik i boevykh vozmozhnostey sistem ZURO S-25 i S-75 i sozdaniyu metodov issledovaniya sistem ZURO (fotoillustratsii)* [A set of research, development and test work on the radical expansion of tactical and technical characteristics and combat capabilities of ZURO C-25 and C-75 systems and the creation of methods for studying ZURO systems (photo-illustrations)]. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed April 25, 2019).
- [30] *Albom illyustratsiy izdeliya 5YA25 (Akt po sovmestnym ispytaniyam rakety 5YA25 v sostave ognevogo kompleksa sistemy-25M. 1967 g.)* [Album of product illustrations 5YA25 (Act on joint testing of a 5Y25 rocket as part of the firing system of the system-25M. 1967)]. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 15, 2018).

**Metelsky A.O.**, post-graduate, Department of High-Precision Airborne Devices, Bauman Moscow State Technical University; author of 6 research papers in the field of anti-aircraft missile warheads. Research interests: warheads of missiles, munitions design and action, physics of explosion and high-speed shock. e-mail: [metelskiy@bmstu.ru](mailto:metelskiy@bmstu.ru)

**Markov V.A.**, Head of Laboratory, Department of High-Precision Airborne Devices, Bauman Moscow State Technical University; author of over 300 research papers in the field of physics of explosion and high-speed shock. e-mail: [markovva@bmstu.ru](mailto:markovva@bmstu.ru)

**Pusev V.I.**, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of High-Precision Airborne Devices, Bauman Moscow State Technical University; author of over 300 research papers in the field of physics of explosion and high-speed shock. e-mail: [pusevvi@bmstu.ru](mailto:pusevvi@bmstu.ru)