

О боевых частях зенитных управляемых ракет зенитной ракетной системы С 25. Часть 2

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

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

В части 2 статьи содержатся результаты исследования конструкции боевых частей зенитных управляемых ракет на примере зенитной ракетной системы С-25. Проанализирована информация из открытых источников, что позволило восстановить конструктивно-компоновочные схемы боевых частей поздних этапов модернизации зенитной ракетной системы С-25 и оценить их боевые характеристики. Рассмотрены и другие устройства, входящие в состав боевого снаряжения (сочетание боевой части и взрывательного устройства) зенитной управляемой ракеты: предохранительно-исполнительные механизмы и радиовзрыватели. Как и в части 1 статьи, исследование проводилось в комплексе с носителем в рамках системного подхода к изучению и проектированию боевых частей зенитных управляемых ракет. Представлены также ядерные или специальные боевые части, которыми оснащали ракеты семейства В-300 зенитной ракетной системы С-25 после различных этапов модернизации.

Ключевые слова: зенитная управляемая ракета, осколочно-фугасная боевая часть направленного действия, взрывчатая смесь, разрывной заряд, готовые поражающие элементы, боевая часть с управляемым полем поражения, предохранительно-исполнительный механизм, радиовзрыватель, ядерная боевая часть, имплозивная схема

Введение. Продолжая тему исследования конструктивных особенностей боеприпасов на примере боевых частей (БЧ) зенитных управляемых ракет (ЗУР) семейства В-300 зенитной ракетной системы (ЗРС) С-25, в части 2 работы представлены восстановленные конструктивно-компоновочные схемы и характеристики снаряжения обычных БЧ (ОБЧ) на последних этапах модернизации ЗРС С-25. Эти материалы позволяют получить широкое представление не только о различных вариантах исполнения и возможностях БЧ ЗУР ЗРС С-25, но и об основных типах таких боеприпасов, характерных для современных образцов. Кроме того, рассмотрены ядерные или специальные БЧ (СБЧ), которыми оснащали ЗУР на различных этапах модернизации системы С-25. Как и в части 1 [1], БЧ ЗУР ЗРС С-25 исследованы вместе с конструкцией ЗУР и составляющими боевого снаряжения ЗУР (боевое снаряжение ЗУР — сочетание БЧ и взрывательного устройства) для реализации системного подхода к изучению и разработке БЧ.

Боевая часть 5Ж91. Дальнейшим развитием БЧ Ф-280 (см. часть 1 [1]) стала осколочно-фугасная (ОФ) БЧ 5Ж91 (рис. 1) [2, 3],

разработанная в НИИ-6 (в настоящее время — ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева») для ЗУР 5Я25 и 5Я25М [4, 5]. Разработку 5Ж91, как и всех других БЧ, за исключением НОД-207А, курировал заместитель директора НИИ-6, выпускник МХТИ им. Д.И. Менделеева (в настоящее время — РХТУ им. Д.И. Менделеева) М.И. Воротовов (1912–1977) [5]. В связи с этим в ней также предполагалась реализация идеи направленного поля поражения [2, 3].

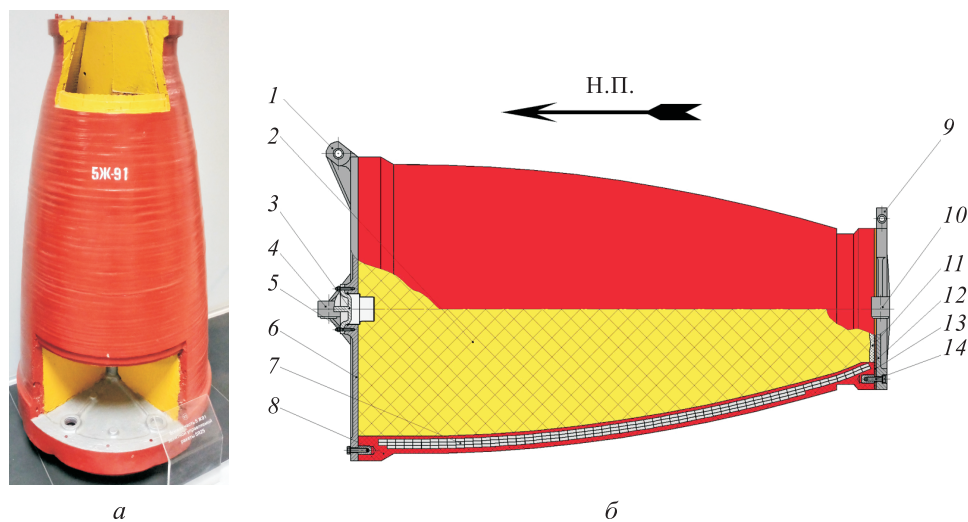


Рис. 1. Боевая часть 5Ж91:

а — учебная 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 — тротиловая «пробка»; 12 — крышка; 13 — прокладки; 14 — болт; Н.П. — направление полета ЗУР)

Главными отличиями данной БЧ от прототипа были значительное удлинение корпуса, позволившее увеличить массу взрывчатой смеси (ВС), и большее число готовых поражающих элементов (ГПЭ), располагаемых в несколько рядов [2, 3].

С наружной стороны дно и крышка БЧ имели радиальные ребра жесткости, а на боковых сторонах устанавливали две стыковочные лапы, в отверстиях которых были развальцованы стальные втулки для стыковки БЧ с отсеком ЗУР. Кроме того, крышка и дно имели проушины для подъема БЧ при транспортировке и установке в ЗУР [2, 3]. Дно и крышка крепились к корпусу БЧ 12 болтами и 4 винтами, а герметизация стыков при их установке обеспечивалась эпоксидным компаундом.

Проведенная модернизация привела к расширению сектора поражения и увеличению плотности поля ГПЭ (рис. 2) [6], что позволило увеличить поражающее действие БЧ. Боевая часть 5Ж91 состояла

из корпуса, дна, крышки и разрывного заряда (РЗ). Корпус изготавливали из трех слоев стальных ГПЭ, укладываемых на стеклотенту и скрепляемых эпоксидным компаундом горячего отверждения. Все ГПЭ выполняли в форме прямоугольного параллелепипеда одного размера ($6 \times 6 \times 16$ мм). На торцах БЧ были предусмотрены кольцевые утолщения с отверстиями для крепления дна и крышки [2, 3]. Поскольку форма БЧ была сложной, с криволинейной образующей, можно предположить, что ГПЭ укладывали вручную вследствие ограниченных возможностей автоматизированного способа намотки стеклотенты.

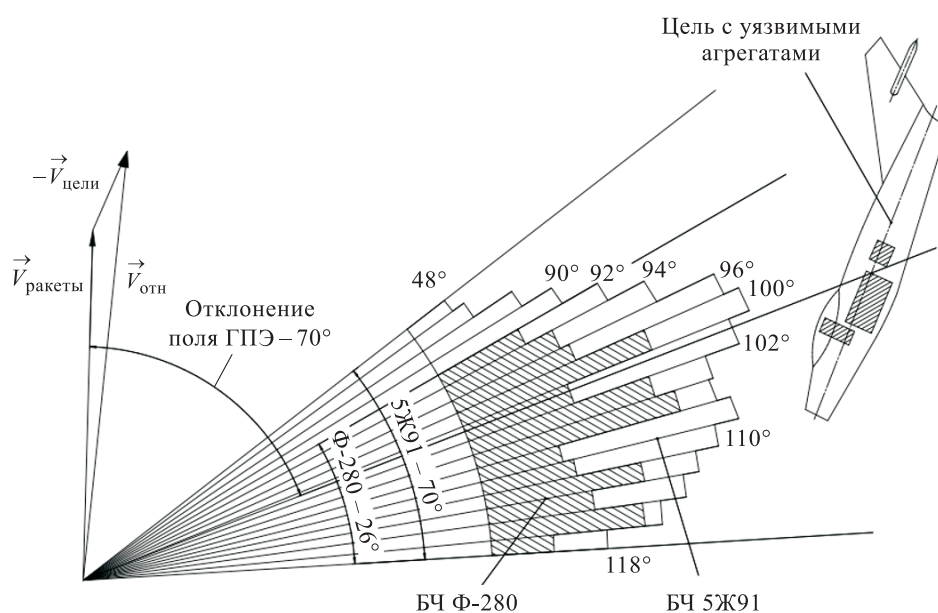


Рис. 2. Гистограммы плотности полей ГПЭ при действии по истребителю МиГ-15 БЧ Ф-280 и БЧ 5Ж91

В центре дна БЧ выполнен прилив с гнездом, в котором устанавливали стакан для размещения ПИМ ВДМ-8 или заглушки. Разрывной заряд представлял собой ВС ТГ-20 (20 % тротила, 80 % гексогена), поступающую в корпус БЧ методом вибрационно-вакуумной заливки. При этом открытый торец РЗ заливался тротилом, образующим при застывании «пробку», герметизируемую при последующей установке прокладок и крышки [2, 3]. Используя известные геометрические соотношения, можно оценить массу ВС и коэффициент наполнения (отношение массы РЗ к массе БЧ) БЧ 5Ж91. Для ВС ТГ-20 плотностью $1,71 \text{ г/см}^3$ масса РЗ составит примерно 212 кг, а коэффициент наполнения — 0,54.

Основные характеристики БЧ 5Ж91 [2, 3, 7] приведены ниже:

Тип БЧ	ОФ направленного действия
Диаметр торца, м:	
переднего	0,56
заднего	0,3
Длина, м	1,065
Общая масса (без ПИМ), кг	390
Тип ВС	ТГ-20
Масса ВС (при $\rho = 1,71 \text{ г/см}^3$), кг	~ 212
Коэффициент наполнения	~ 0,54
Количество ГПЭ	~ 36 000
Материал ГПЭ	Сталь
Масса одного ГПЭ, г	4,3
Размеры одного ГПЭ, мм	$6 \times 6 \times 16$
Начальная скорость разлета ГПЭ, м/с:	
на переднем фронте	~ 1800
на заднем фронте	~ 2400

Инициирование БЧ 5Ж91 выполнялось по команде от радиовзрывателя (РВ) Е-802М-П (в ЗУР 5Я25М — от 5Х48), передающей ПИМ ВДМ-8 (именуемым в [2] «воспламенительно-детонирующим механизмом») [2, 6, 8, 9]. В момент взрыва под действием расширяющихся продуктов детонации ГПЭ разлетались, образуя круговое поле поражения, по форме близкое к усеченному конусу [2]. При этом основная часть ГПЭ сосредотачивалась в 70° секторе, отклоненном от оси ЗУР примерно на 70° , в то время как у БЧ Ф-280 этот сектор был всего 22° (рис. 2) при том же отклонении [6, 10]. Поражение цели осуществлялось осколочным действием, а также совместным действием ГПЭ и фугасным действием в случае подрыва БЧ на малом удалении [2].

Радиус фугасного действия БЧ 5Ж91, приводящего к разрушению конструкции планера воздушной цели при разрушающем импульсе $100 \text{ кгс}\cdot\text{с/м}^2$, в зависимости от высоты полета цели, приведен ниже [9]:

H , км	1,5	3	5	10	15	20	25	30-35
$R_{\text{фуг}}$, м	17	16	15	12	10	7	5	4

Радиовзрыватель 5Х48 являлся активным РВ, реализующим импульсный принцип выделения сигнала, который работал в сантиметровом диапазоне длин волн. По структурной схеме 5Х48 представлял собой гетеродинный РВ с отдельными трактами приема и передачи, имеющим отдельные антенные входы [8, 9]. Классификация РВ Е-802М-П приведена в части 1 настоящей статьи [1].

Боевая часть 5Ж97. Для ЗУР семейства В-300 БЧ 5Ж97 (рис. 3) стала последней ОБЧ, принятой на вооружение [11]. Разработанная, вероятно, в НИИ-6, она предназначалась для снаряжения ЗУР 5Я24 (рис. 4) [12]. Главная особенность БЧ 5Ж97 — попытка реализации принципа управляемого поля поражения, что предполагалось достичь введением в конструкцию БЧ двух точек инициирования РЗ, использование которых зависело от условий встречи ЗУР с целью [7, 11, 13].

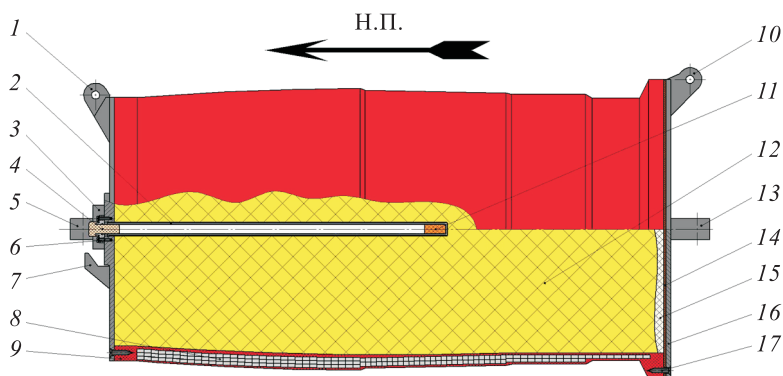


Рис. 3. Конструктивно-компоновочная схема БЧ 5Ж97:

1, 10 — такелажные ушки; 2 — трубка с волноводом; 3 — направляющий выступ; 4 — заглушка; 5, 13 — установочные ушки; 6 — винт; 7 — клиновидный захват; 8 — ГПЭ; 9 — корпус; 11 — титановая шашка; 12 — РЗ; 14 — прокладки; 15 — тротильная «пробка»; 16 — крышка; 17 — самонарезной винт; Н.П. — направление полета ЗУР

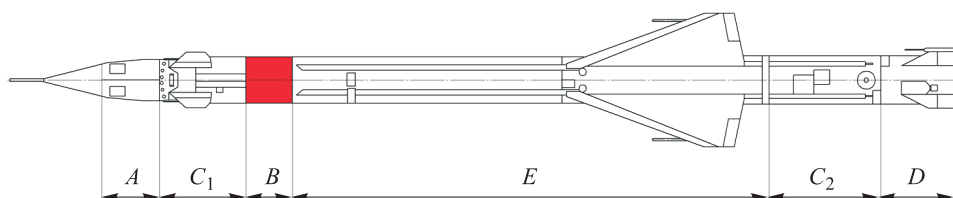


Рис. 4. Схема ЗУР 5Я24 (отсек БЧ покрашен)

Конструктивно в состав БЧ входили корпус, дно, крышка и РЗ. Корпус бочкообразной формы из стеклопластика на основе эпоксидного связующего армирован стальными ГПЭ. Слой ГПЭ в виде прямоугольного параллелепипеда был переменной толщины благодаря комбинации укладки двух типов ГПЭ: $6 \times 6 \times 12$ мм и $7 \times 7 \times 9$ мм. На боковых сторонах дна и крышки были установлены по два установочных ушка с отверстиями для стыковки БЧ с ЗУР. В верхней части дна и крышки были предусмотрены такелажные ушки для подъема БЧ в процессе ее транспортировки или установки в ЗУР. Дно и крышка устанавливались к торцам корпуса на эпоксидном компаунде и закреплялись самонарезными винтами, что обеспечивало его

герметичность. РЗ представлял собой ВС на основе тротила и гексогена [11].

Предполагается, что здесь, как и в БЧ 5Ж91, использовалась ВС ТГ-20, которая снаряжалась методом вибрационно-вакуумной заливки. В этом случае перед установкой прокладок и крышки в РЗ также формировалась тротиловая «пробка». С помощью известных геометрических соотношений можно оценить массу ВС и коэффициент наполнения БЧ 5Ж97. Для ВС ТГ-20 плотностью 1,71 г/см³ масса РЗ составит примерно 200 кг, коэффициент наполнения — 0,52. Приняв линейное распределение скорости продуктов детонации [14-17], можно определить начальную скорость разлета ГПЭ, используя формулу Покровского — Гарни

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

где D — скорость детонации ТГ-20, $D = 8150$ м/с [15]; β — коэффициент нагрузки (отношение массы РЗ к массе осколочной оболочки БЧ).

При такой оценке начальной скорости ГПЭ получается примерно 2210 м/с.

Поскольку корпус БЧ имел сравнительно простую форму, можно предположить, что намотка стеклопластика и последующая укладка ГПЭ могли быть выполнены по механизированной технологии. Принцип конструирования корпусов БЧ на базе использования эпоксидных стеклопластиков с ГПЭ был разработан сотрудником НИИ-6, выпускником Артиллерийской академии им. Ф.Э. Дзержинского (в настоящее время — Военная академия РВСН им. Петра Великого) Е.Н. Ивановым. Именно он совместно с сотрудниками НИИ-13 (в настоящее время — АО «ЦНИИМ») разработал станок для автоматизированной укладки ГПЭ в БЧ с одновременным формированием каркаса корпуса из стеклопластика [5]. В центральной части дна БЧ были предусмотрены отверстие под трубку и утонение, через которые детонирующие импульсы от ПИМ передавались на РЗ. Трубка крепилась к дну БЧ путем развальцовки, а в нее был вставлен волновод, состоявший из стального фланца (которым волновод крепился ко дну), алюминиевой трубы и алюминиевого стаканчика с впрессованной в него тетриловой шашкой. Отверстие волновода было закрыто пластмассовой заглушкой, снимаемой при установке ПИМ в БЧ. В центральной части дна БЧ расположена площадка для установки ПИМ. Фиксация и точная ориентация ПИМ обеспечивались клиновыми захватами и направляющими выступами с резьбовыми отверстиями для его крепления. Наружная сторона корпуса БЧ была обработана грунтом АК-070 и окрашена эмалью ХВ-124.

Основные характеристики БЧ 5Ж97 [11, 14-16] представлены ниже:

Тип БЧ	ОФ с управляемым полем поражения
Максимальный диаметр, м	0,5
Длина, м	1,065
Общая масса (без ПИМ), кг	382^{+5}_{-2}
Тип ВС (предположительный)	ТГ-20
Масса ВС (при $\rho = 1,71 \text{ г/см}^3$), кг	~ 200
Коэффициент наполнения	$\sim 0,52$
Количество ГПЭ	$\sim 32\ 000$
Материал ГПЭ	Сталь
Масса одного ГПЭ, г	$\sim 3,3$
Размеры одного ГПЭ (два типа), мм	$6 \times 6 \times 12; 7 \times 7 \times 9$
Начальная скорость разлета ГПЭ, м/с	~ 2210

Поражение воздушных целей основывалось на действии поля ГПЭ и на суммарном осколочно-фугасном действии БЧ на близких расстояниях. Разрывной заряд инициировался по команде от РВ 82В6, поступающей к ПИМ 5В38, имевшему два детонатора (один служил для подрыва БЧ в торцевой точке, а другой — во внутренней точке). Если был необходим подрыв БЧ с торца, то сигнал РВ передавался коммутирующим устройством на детонатор ПИМ, установленный перед утонением дна. Ударная волна и мелкие осколки, образовавшиеся при взрыве детонатора ПИМ, через утонение дна вызывали подрыв РЗ. Когда требовался подрыв БЧ изнутри, сигнал от РВ подавался коммутирующим устройством на детонатор ПИМ, расположенный перед каналом волновода. Образовавшиеся при взрыве детонатора ударная волна и мелкие осколки через канал волновода инициировали тетриловую шашку, которая вызывала подрыв РЗ.

В момент подрыва БЧ под действием расширявшихся продуктов детонации разлетавшиеся ГПЭ образовывали круговое поле поражения, близкое по форме к усеченному конусу. При этом в случае подрыва БЧ с торца максимум плотности поля ГПЭ находился в середине угла разлета, а в случае подрыва изнутри — смещался к передней границе поля поражения. Наличие у БЧ 5Ж97 двух точек инициирования увеличивало вероятность поражения, а также повышало надежность срабатывания, что обеспечивалось выдачей РВ с небольшой задержкой дополнительного сигнала на подрыв обоих детонаторов ПИМ [11].

ПИМ 5В38 предохранял БЧ от подрыва в служебном обращении ЗУР, при ее старте и на траектории полета до момента его взведения. По соответствующему сигналу РВ он выдавал детонационный импульс на подрыв БЧ в одной из точек инициирования, а на 70-й секунде полета — детонационный импульс на ликвидацию ЗУР. ПИМ

устанавливали на площадку дна БЧ, поджимали клиновыми захватами и крепили винтами к направляющим выступам [11].

Радиовзрыватель 82В6 был активным РВ, реализующим импульсный принцип выделения сигнала и работавшим в сантиметровом диапазоне длин волн. По структурной схеме РВ 82В6 представлял собой гетеродинный РВ с отдельными трактами приема и передачи, имевший отдельные антенные входы [18].

Специальные боевые части. Каждый зенитный ракетный полк ЗРС С-25 «Беркут» имел в своем составе три ЗУР, оснащенные СБЧ [19]. Эти СБЧ создавали для обеспечения возможности отражать массированные налеты авиации противника, проводящиеся в плотных боевых порядках. Рассмотрим СБЧ, которыми оснащались принятые на вооружение ЗУР ЗРС С-25.

Специальная БЧ С2. Став первой отечественной СБЧ для ЗУР, принятой на вооружение и запущенной в серийное производство [4, 7, 13], СБЧ С2 (рис. 5) [10] разработана для ЗУР 215 в КБ-25 (в настоящее время — ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова») под руководством главного конструктора, выпускника Ленинградского политехнического института (в настоящее время — Санкт-Петербургский политехнический университет имени Петра Великого) Н.Л. Духова (1904–1964) после выхода постановления Совета Министров СССР (СМ СССР) от 22 марта 1955 г. [4, 7].

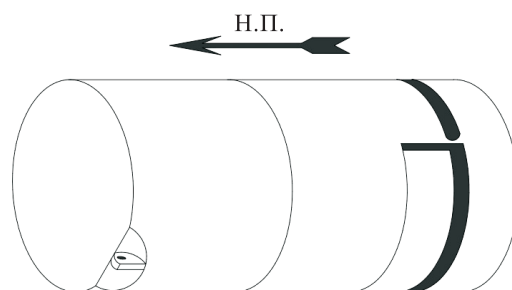


Рис. 5. Контурный чертеж СБЧ С2 (Н.П. — направление полета ЗУР)

Согласно [13], СБЧ С2 представляла собой адаптированный под ЗУР ядерный боевой заряд РДС-9 [20, 21], созданный для первой советской 533-мм ядерной торпеды Т-9. Поскольку диаметр ЗУР 215 составлял 650 мм, а БЧ ЗУР семейства В-300 имели диаметр более 500 мм, такое решение представляется вполне возможным. Косвенное тому подтверждение — одинаковая мощность взрыва СБЧ С2 и РДС-9, равная 10 кт в тротиловом эквиваленте [7, 13, 20, 21]. Очевидно, СБЧ С2, как и ее аналог РДС-9, были выполнены по импозивной схеме [20, 21]. Масса СБЧ С2 составляла 380 кг [10]. Для того чтобы обеспечить ее функционирование, отсек СБЧ в ЗУР 215 тепло-

изолировали и оснастили электрообогревателем с автоматикой включения и выключения обогрева [10].

СБЧ С2 должна была обеспечивать поражение воздушных целей при массированном налете авиации противника в плотных боевых порядках, когда разрешающая способность станции Б-200 не обеспечивала наведения на отдельный самолет [7]. Первое испытание СБЧ С2 в составе ЗУР 215 было проведено на полигоне Капустин Яр (в настоящее время — 4-й ГЦМП РФ) 19 января 1957 г. Оно стало известно как операция «ЗУР-215» [22, 23]. По результатам испытания два бомбардировщика Ил-28, летевшие на высоте 10 км с интервалом около 1 км, были уничтожены ЗУР 215, взорвавшейся на расстоянии 200 м от первой цели. Как указывается в [4, 7], в результате взрыва СБЧ у обоих Ил-28 разрушились консоли крыльев. Испытания ЗУР 215 повторили 6 сентября 1961 г. в рамках операции «Гроза» [22, 23].

Специальная БЧ РА-4. Предположительно, СБЧ РА-4 (рис. 6) [10, 24, 25]) была разработана в КБ-25 для ЗУР 218 [13, 25, 26]. Наиболее вероятно, что в данной СБЧ также была реализована импловивная схема. При компоновке отсек СБЧ РА-4 расположили за воздушными рулями ЗУР 218, отличавшегося также наличием теплоизоляции и электрообогревателя с автоматикой включения и выключения обогрева [10].

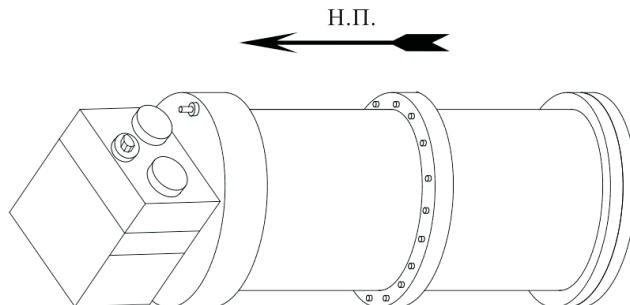


Рис. 6. Контурный чертеж СБЧ РА-4 (Н.П. — направление полета ЗУР)

Теплоизоляция состояла из двух слоев стеклоткани, между которыми был помещен слой стекловаты. Обогреватель выполняли в виде электронагревателя из вмонтированной внутри стеклотекстолитового листа проволоки с большим электрическим сопротивлением [25]. Масса СБЧ РА-4 составляла 247 кг [10].

СБЧ РА-4 приводилась в действие по команде от РВ 5Е19, разработанного в НИИ-504 (в настоящее время — ПАО «НПП «Импульс»») [13, 25, 26]. РВ 5Е19 являлся активным РВ, реализующим импульсный принцип выделения сигнала. Взрыватель работал в сантиметровом диапазоне длин волн и структурно представлял собой

гетеродинный РВ с отдельными трактами приема и передачи, имеющий отдельные антенные входы [24, 27]. Дальность срабатывания РВ составляла 250 м [24].

Специальная БЧ ТА26. Последней БЧ ЗУР семейства В-300, принятой на вооружение, стала СБЧ ТА26 (рис. 7) [28]. Ее создали для оснащения ЗУР 44Н6 (рис. 8) [29].

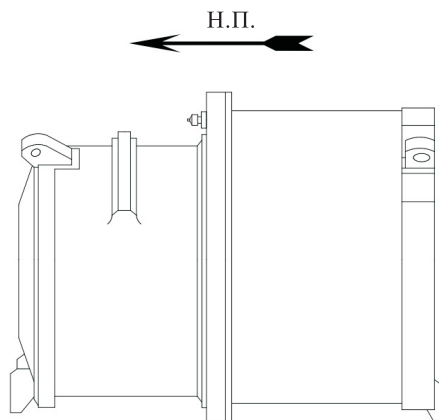


Рис. 7. Контурный чертеж СБЧ ТА26 (Н.П. — направление полета ЗУР)

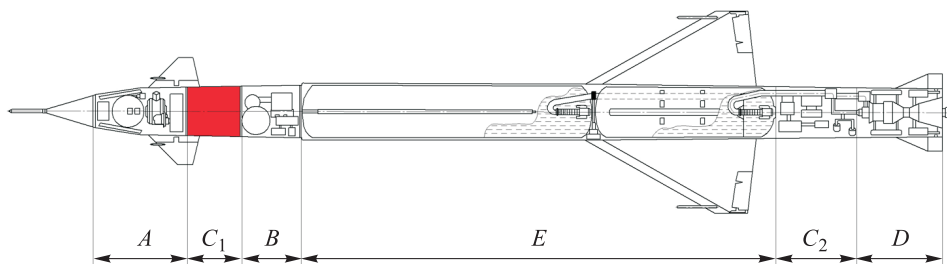


Рис. 8. Схема ЗУР 44Н6 (отсек БЧ закрашен)

Отличительная особенность заключалась в том, что это была СБЧ переменной мощности [28, 29]. Масса СБЧ ТА26, очевидно, не превосходила 382 кг [13, 28]. Разработали ТА26 в КБ-25. В комплекте с этой СБЧ изготовитель поставлял шифратор АЗЭ6 [28, 29]. Предполагается, что и в СБЧ ТА26 была реализована импловивная схема. Для обеспечения работы барометрической системы СБЧ ТА26 приемники воздушного давления ПД-5 устанавливали на верхнем и нижнем крыльях ЗУР 44Н6.

В отсеке СБЧ применялась термоизоляция, специальная окраска отсека обеспечивала необходимый тепловой режим при содержании ЗУР в естественных условиях. В качестве теплозащиты были использованы отдельные маты из стекловолокна, обшитые кремнеземной

тканью. Как и СБЧ РА-4, СБЧ ТА26 приводилась в действие по команде от РВ 5Е19 [27, 29].

Заключение. В результате проведенного исследования на примере ЗРС С-25 были выявлены различные варианты исполнения и общие конструктивные особенности БЧ ЗУР. Восстановленные конструктивно-компоновочные схемы и характеристики ОБЧ ЗУР В-300 помогли выявить характерные отличия БЧ ЗУР от других видов боеприпасов:

- большая масса БЧ, характерная для крупнокалиберных боеприпасов;
- применение 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.

Было также установлено, что БЧ ЗУР для стратегической ЗРС 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, 5Ж91, 5Ж97). Кроме того, было обнаружено, что БЧ ЗУР могут быть выполнены по мультикумулятивной схеме с формированием поля высокоскоростных компактных поражающих элементов, аналогичного полю ГПЭ (В-196), либо реализовать принцип БЧ с управляемым полем поражения (5Ж97). Еще одна особенность ЗУР стратегической ЗРС — использование ракет с СБЧ (С2, РА-4, ТА26) в качестве боевого оснащения. Многочисленные конструкторские решения, заложенные в БЧ ЗУР ЗРС С-25, в последующем стали характерными для этого нового вида боеприпасов, причем их применяют и в настоящее время.

Изучать БЧ ЗУР следует комплексно — вместе со всеми составляющими боевого снаряжения, а также с учетом конструкции носителя. Однако в большинстве случаев БЧ изучают либо в отрыве от ЗУР, либо с использованием условных схем, которые не дают представления ни о боевых возможностях БЧ, ни о названных особенностях конструкции (рис. 9) [30].

Например, в известных работах [30–33] либо приводится классификация БЧ ЗУР [30, 31], либо — их анализ на основе патентов США [32] или дается описание боевого снаряжения без учета особенностей носителя [33]. В указанных работах отсутствует информация о ЗУР, которые могли быть оснащены БЧ определенного типа. Кроме того,

в работе [34] показан только контурный чертеж ЗУР 205, а описание конструктивных схем БЧ приведено в отрыве от конструктивно-компоновочных схем ЗУР. Поэтому в настоящей статье предложен востребованный при изучении и разработке современных эффективных БЧ ЗУР системный подход, включающий все элементы боевого снаряжения, такие как БЧ, РВ, ПИМ и носитель.

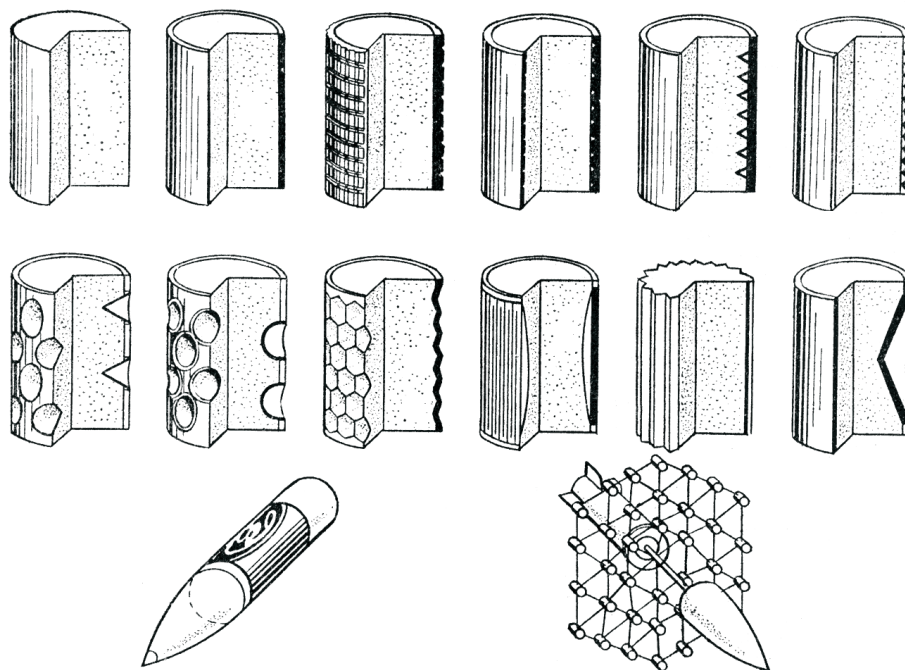


Рис. 9. Вариант классификации БЧ ЗУР в отрыве от ЗУР

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

ЛИТЕРАТУРА

- [1] 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>
- [2] *Ракета 5Я25М. Техническое описание. Книга 1: общие сведения. Устройство ракеты*. Москва, Воениздат, 1978, 127 с. URL: <http://historykrvo.narod2.ru> (дата обращения 19.12.2018).
- [3] *Демонстрационно-музейный зал кафедры СМ4 «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана*. Москва, 2022.
- [4] 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).

- [5] *Специалисты по взрывчатым материалам, пиротехнике и боеприпасам. Биографическая энциклопедия.* Москва, «АвиаРус-XXI», 2006, 704 с.
- [6] *Альбом иллюстраций изделия 5Я25* (Акт по совместным испытаниям ракеты 5Я25 в составе огневого комплекса системы-25М. 1967 г.). URL: <http://historykrvo.narod2.ru> (дата обращения 15.12.2018).
- [7] Ангельский Р. Ракетные леса Подмосковья. *Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра*, 2002, № 4, с. 13–18.
- [8] *Ракета 5Я25М. Техническое описание. Книга 4: радиовзрыватель 5Х48.* Москва, Воениздат, 1978, 88 с. URL: <http://historykrvo.narod2.ru> (дата обращения 19.12.2018).
- [9] *Акт по заводским испытаниям ракеты 5Я25М* (войсковая часть 29139), 1970 г. URL: <http://historykrvo.narod2.ru> (дата обращения 20.12.2018).
- [10] *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://historykrvo.narod2.ru> (дата обращения 25.04.2019).
- [11] *Ракета 5Я24. Техническое описание. Книга 1: общие сведения. Устройство ракеты.* Москва, Воениздат, 1985, 133 с. URL: <http://historykrvo.narod2.ru> (дата обращения 19.12.2018).
- [12] Ганин С.М. Первая отечественная зенитная ракетная система ПВО Москвы — С-25 «Беркут». В кн.: *Невский бастион. Военно-технический сборник*, 1997, № 2, с. 25–32.
- [13] Многоканальные стационарные зенитные ракетные комплексы ПВО. *Военный паритет.* URL: http://www.militaryparitet.com/nomen/russia/rocket/rocketcomplex/data/ic_nomenrussiारocketrocketcomplex/4/ (дата обращения 10.04.2019).
- [14] Рассоха С.С., Селиванов В.В. *Осколочное действие боеприпасов.* В.В. Селиванов, ред. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018, 209 с.
- [15] Орленко Л.П., ред. *Физика взрыва.* В 2 т. Т. 1. Изд. 3-е, испр. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2004, 832 с.
- [16] Орленко Л.П., ред. *Физика взрыва.* В 2 т. Т. 2. Изд. 3-е, испр. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2004, 656 с.
- [17] Селиванов В.В., ред. *Боеприпасы.* В 2 т. Т. 1. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2016, 506 с.
- [18] *Ракета 5Я24. Техническое описание. Книга 4: радиовзрыватель 82В6.* Москва, Воениздат, 1986, 128 с. URL: <http://historykrvo.narod2.ru> (дата обращения 19.12.2018).
- [19] Василин Н.Я., Гуринович А.Л. *Зенитные ракетные комплексы: справочник.* Минск, Изд-во «Попурри», 2002, 463 с.
- [20] Ядерная торпеда Т-5. *Военное обозрение.* URL: <https://topwar.ru/127031-yadernaya-torpeda-t-5.html> (дата обращения 10.04.2019).
- [21] Т-5/Т-V/53-58/изделие 233. *Military Russia* (Отечественная военная техника после 1945 г.). URL: <http://militaryrussia.ru/blog/topic-483.html> (дата обращения 10.04.2019).
- [22] *Ядерные взрывы на полигоне Капустин Яр.* URL: <http://www.kap-yar.ru/index.php?pg=404> (дата обращения 10.04.2019).
- [23] *Ядерные испытания СССР. Том II: Технологии ядерных испытаний СССР. Воздействие на окружающую среду. Меры по обеспечению безопасности. Ядерные полигоны и площадки.* Глава 1: Технологии проведения ядерных испытаний в атмосфере. Воздействие на окружающую среду. Меры по обеспечению безопасности. П. 1.9: Ядерные взрывы на больших высотах. URL: https://web.archive.org/web/20140406175913/http://www.iss-atom.ru/sss2/1_9.htm (дата обращения 10.04.2019).

- [24] *Зенитный стационарный комплекс С-25* (альбом с характеристиками). URL: <http://historykrvo.narod2.ru> (дата обращения 10.12.2018).
- [25] *Акт комиссии по заводским испытаниям ракеты 218*. Том I. 1963 г. URL: <http://historykrvo.narod2.ru> (дата обращения 19.12.2018).
- [26] *Акт комиссии по заводским испытаниям ракеты 218*. Том II. 1963 г. URL: <http://historykrvo.narod2.ru> (дата обращения 20.12.2018).
- [27] *Акт государственных испытаний ракеты 44Н6 (5Я24С) в составе огневого комплекса системы С-25М1*. Книга 5: Иллюстрации по ракете 44Н6 (войсковая часть 29139), 1981 г. URL: <http://historykrvo.narod2.ru> (дата обращения 20.12.2018).
- [28] *Акт государственных испытаний ракеты 44Н6 (5Я24С) в составе огневого комплекса системы С-25М1*. Книга 1: Основные результаты испытаний ракеты 44Н6 в огневом комплексе С-25М1 (войсковая часть 29139), 1981 г. URL: <http://historykrvo.narod2.ru> (дата обращения 19.12.2018).
- [29] *Акт предварительных (заводских) испытаний ракеты 44Н6 (5Я24С) в составе огневого комплекса системы С-25М1. Часть I: Основные результаты испытаний ракеты 44Н6 в огневом комплексе С-25М1*. Книга I (войсковая часть 29139), 1981 г. URL: <http://historykrvo.narod2.ru> (дата обращения 19.12.2018).
- [30] Белов А. Боевые части ракет для поражения воздушных целей. *Зарубежное военное обозрение*, 1987, № 2, с. 52–55.
- [31] Одинцов В. Осколочные боевые части ракет: перспективы развития. *Военный парад*, 1998, № 4 (28), с. 60–62.
- [32] Одинцов В. Боевые части зенитных управляемых ракет. *Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра*, 2001, № 3, с. 16–20.
- [33] Курепин А.Е., Кузнецов И.А. *Основы проектирования боевых частей управляемых ракет*. И.О. Артамонов, ред. г. Дзержинск, АО «ГосНИИ-маш», 2018, 368 с.
- [34] 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.

Статья поступила в редакцию 30.07.2022

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 2. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2022, вып. 3. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2022-3-2161>

Метельский Александр Олегович — аспирант кафедры «Высокоточные летательные аппараты», МГТУ им. Н.Э. Баумана; автор 7 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

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

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

On the warheads of anti-aircraft guided missiles of the S-25 anti-aircraft missile system. Part 2

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

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The part 2 of 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 us to restore the design and layout diagrams of the warheads of the later stages of modernization of the S-25 anti-aircraft missile system and assess their combat characteristics. Other devices that make up the combat equipment, i.e. a combination of a warhead and an explosive device, of an anti-aircraft guided missile are also considered: safety-and-arming mechanisms and radio fuses. As in the first part, we implemented a systematic approach to studying and designing warheads of anti-aircraft guided missiles, so carriers, i.e. anti-aircraft guided missiles, were also taken into account. Nuclear or special warheads, which equipped missiles of V-300 anti-aircraft guided missiles of the S-25 anti-aircraft missile system after various stages of modernization, are also considered.

Keywords: *anti-aircraft guided missile, high-explosive fragmentation warhead, explosive mixture, bursting charge, preformed fragments, warhead with controlled destruction field, safety-and-arming mechanism, radio fuse, nuclear warhead, implosion scheme*

REFERENCES

- [1] Metelskiy A.O., Markov V.A., Pusev V.I. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii — Engineering Journal: Science and Innovation*, 2022, iss. 2. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2022-2-2152>
- [2] *Raketa 5Ya25M. Tekhnicheskoe opisanie. Kniga 1: ustroystvo rakety. Obshie svedeniya* [Missile 5YA25M. Technical description. Book 1: rocket device. General information]. Moscow, Voenizdat Publ., 1978, 127 p. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 19, 2018).
- [3] *Demonstratsyonno-muzeynyy zal kafedry SM4 “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].
- [4] Serov G.P. *V-300 — nasha perrvaya 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).
- [5] Spetsialisty po vzyvchatym materialam, pirotehnike i boepripasam [Specialists in explosives, pyrotechnics and ammunition]. *Biograficheskaya entsiklopediya* [Biographical encyclopedia]. Moscow, AviaRus-XXI Publ., 2006, 704 p.
- [6] *Album 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).
- [7] Angelskiy R. *Tekhnika i vooruzheniye vchera, segodnya, zavtra (Technology and weapons yesterday, today, tomorrow)*, 2002, no. 4, vol. 2. pp. 13–18.
- [8] *Raketa 5Ya25M. Tekhnicheskoe opisanie. Kniga 4: radiosvryvatel 5X48* [Missile 5YA25M. Technical description. Book 4: radio fuse 5X48]. Moscow, Voenizdat

- Publ., 1978, 188 p. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 19, 2018).
- [9] *Akt po zavodskim ispytaniyam rakety 5Ya25M* (voyskovaya chast 29139), 1970 [Act on factory testing of the 5Ya25M rocket (military unit 29139), 1970]. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 19, 2018).
- [10] *Sovokupnost nauchno-issledovatel'skikh, opytno-konstruktorskikh i ispytatelnykh rabot po korennomu rashireniyu taktiko-tekhnicheskikh kharakteristik i boevykh vozmozhnostey system ZURO S-25 i S-75 i sozdaniyu metodov issledovaniya system 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).
- [11] *Raketa 5Ya24. Tekhnicheskoe opisaniye. Kniga 1: ustroystvo rakety. Obshie svedeniya* [Missile 5Ya24. Technical description. Book 1: rocket device. General information]. Moscow, Voenizdat Publ., 1985, 133 p. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 19, 2018).
- [12] Ganin S.M. *Nevskiy bastion. Voенno-tekhnicheskiiy sbornik — Military-technical collection «Nevsky Bastion»*, 1997, no. 2, pp. 25–32.
- [13] *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_enrussiarrowrocketcomplex/4/ (accessed April 10, 2019).
- [14] Rassokha S.S., Selivanov V.V. *Oskolochnoye deystvie boepripasov* [Fragmentation effect of ammunition]. Moscow, BMSTU Publ., 2018, 209 p.
- [15] Orlenko L.P., ed. *Fizika vzryva. V 2 tomakh, tom 1* [Explosion physics. In 2 vols, vol. 1]. Moscow, 3rd ed., rev., FIZMATLIT Publ., 2004, 832 p.
- [16] Orlenko L.P., ed. *Fizika vzryva. V 2 tomakh, tom 2* [Explosion physics. In 2 vols, vol. 2]. Moscow, 3rd ed., rev., FIZMATLIT Publ., 2004, 656 p.
- [17] V.V. Selivanov, ed. *Boepripasy. V 2 tomakh, tom 1* [Ammunition. In 2 vols, vol. 1]. Moscow, BMSTU Publ., 2016, 506 p.
- [18] *Raketa 5Ya25M. Tekhnicheskoe opisaniye. Kniga 4: radiosvryvatel 82V6* [Missile 5Ya25M. Technical description. Book 4: radio fuse 82V6]. Moscow, Voenizdat Publ., 1986, 128 p. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 19, 2018).
- [19] Vasilin N.Y., Gurinovich A.L. *Zenitnye raketnye kompleksy: spravochnik* [Anti-aircraft missile systems: directory]. Minsk, Poppuri Publ., 2002, 463 p.
- [20] *Yadernaya torpeda T-5. Voенnoye obozreniye* [Nuclear torpedo T-5. Military Review]. Available at: <https://topwar.ru/127031-yadernaya-torpeda-t-5.html> (accessed April 10, 2019).
- [21] *T-5/T-V/53-58/izdeliye 233. Military Russia* (Otechestvennaya voennaya tekhnika posle 1945 g.) [T-5/T-V/53-58/product 233. Military Russia (Domestic military equipment after 1945)]. Available at: <http://militaryrussia.ru/blog/topic-483.html> (accessed April 10, 2019).
- [22] *Yadernye vzryvy na poligone Kapustin Yar* [Nuclear explosions at the Kapustin Yar test site]. Available at: <http://www.kap-yar.ru/index.php?page=404> (accessed April 10, 2019).
- [23] *Yadernye ispytaniya SSSR. Tom II: Tekhnologii yadernykh ispytaniy SSSR. Vozdeystvie na okruzhayushchuyu sredu. Mery po obespecheniyu bezopasnosti. Yadernye poligony i ploschadki. Glava 1: Tekhnologiya provedeniya yadernykh ispytaniy v atmosfere. Vozdeystvie na okruzhayushchuyu sredu. Mery po*

- obespecheniyu bezopasnosti. P. 1.9: Yadernye vzryvy na bol'shikh vysotakh* [Nuclear tests of the USSR. Vol. II: Nuclear test technologies of the USSR. Environmental impact. Security measures. Nuclear test sites and sites. Chapter 1: Technology for conducting nuclear tests in the atmosphere. Environmental impact. Security measures. 1.9: Nuclear explosions at high altitudes]. Available at: https://web.archive.org/web/20140406175913/http://www.iss-atom.ru/sssr2/1_9.htm (accessed April 10, 2019).
- [24] *Zenitny stacionarny 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).
- [25] *Akt komissii po zavodskim ispytaniyam rakety 218*. Tom I. 1963 g. [Act of the Commission for Factory Tests of the Rocket 218. Vol. I. 1963]. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 19, 2018).
- [26] *Akt komissii po zavodskim ispytaniyam rakety 218*. Tom II. 1963 g. [Act of the Commission for Factory Tests of the Rocket 218. Vol. II. 1963]. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 20, 2018).
- [27] *Akt gosudarstvennykh ispytaniy rakety 44N6 (5Ia24S) v sostave ogneвого kompleksa sistemy S-25M1*. Kniga 5: Illyustratsii po rakete 44N6 (voyskovaya chast 29139), 1981 g. [The act of state testing of the 44N6 (5Ya24S) missile as part of the S-25M1 firing system. Book 5: Illustrations on the 44N6 rocket (military unit 29139), 1981]. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 20, 2018).
- [28] *Akt gosudarstvennykh ispytaniy rakety 44N6 (5Ya24C) v sostave ogneвого kompleksa sistemy S-25M1*. Kniga 1: Osnovnye rezultaty ispytaniy rakety 44N6 v ognevom komplekse S-25M1 (voyskovaya chast 29139), 1981 g. [The act of state testing of the 44N6 (5Ya24C) firing system. Book 1: The main results of tests of the 44N6 missile in the S-25M1 firing system (military unit 29139), 1981]. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 19, 2018).
- [29] *Akt predvaritelnykh (zavodskikh) ispytaniy rakety 44N6 (5Ya24S) v sostave ogneвого kompleksa sistemy S-25M1. Chast I: Osnovnye rezultaty ispytaniy rakety 44N6 v ognevom komplekse S-25M1*. Kniga I (voyskovaya chast 29139), 1981 g. [The act of preliminary (factory) tests of the 44N6 (5Ya24S) missile as part of the S-25M1 firing system. Part I: Main results of tests of the 44N6 missile in the S-25M1 firing system. Book I (military unit 29139), 1981]. Available at: <http://historykpvo.narod2.ru> (accessed December 19, 2018).
- [30] Belov A. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie (Foreign military review)*, 1987, no. 2, pp. 52–55.
- [31] Odintsov V. *Voenny parad (Military parade)*, 1998, no. 4 (28), pp. 60–62.
- [32] Odintsov V. *Tekhnika i vooruzheniye vchera, segodnya, zavtra (Technology and weapons yesterday, today, tomorrow)*, 2001, no. 3, pp. 16–20.
- [33] 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.
- [34] Arkhangel'skiy I.I., Afanasev P.P., Golubev E.G., et al. *Proektirovanie zenitnykh upravlyaemykh raket* [Design of anti-aircraft guided missiles]. Moscow, MAI Publ., 2001, 732 p.

Metelsky A.O., post-graduate, Department of High-Precision Airborne Devices, Bauman Moscow State Technical University; author of 7 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

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

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