

## ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ БОЕВОГО СНАРЯЖЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ

Г.В. Белов<sup>1</sup>, В.А. Марков<sup>1</sup>, А.Ф. Овчинников<sup>1</sup>,  
В.И. Пусев<sup>1</sup>, М.Ю. Сотский<sup>2</sup>

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

e-mail: mva\_2805@mail.ru

<sup>2</sup>ЗАО “ИнТех”, Москва, Россия

*Рассмотрены проблемы создания боевого снаряжения кинетического действия крылатых, противокорабельных и зенитных управляемых ракет, связанные с разработкой проникающих боевых частей и программируемых взрывательных устройств. Показаны изъяны раздельного проектирования управляемых ракет и боевого снаряжения для них, а также важнейшее значение физического моделирования при экспериментальных исследованиях на уменьшенных моделях ракет и численного моделирования для разработки рациональных конструкций проникающих боевых частей и программируемых взрывательных устройств.*

**Ключевые слова:** боевое снаряжение, боевая часть, взрывательное устройство, кинетическое действие, управляемые ракеты, проектирование, испытания.

## PROBLEMS OF DEVELOPING KINETIC ENERGY AMMUNITION FOR GUIDED MISSILES

G.V. Belov<sup>1</sup>, V.A. Markov<sup>1</sup>, A.F. Ovchinnikov<sup>2</sup>,  
V.I. Pusev<sup>1</sup>, M.Yu. Sotskiy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

e-mail: mva\_2805@mail.ru

<sup>2</sup>ZAO “InTex”, Moscow, Russia

*The problems of creating kinetic energy ammunition for cruise missiles, anti-ship missiles and surface-to-air missiles, which concern the development of penetrator warheads and programmable fuzes, are considered. The drawbacks of the separate designing of guided missiles and their ammunition are demonstrated. The physical modeling at experimental studies using undersized models of missiles and the numerical simulation for developing efficient designs of penetrator warheads and programmable fuze devices is shown to be most important.*

**Keywords:** ammunition, warhead, fuze, kinetic energy penetration, guided missiles, designing, testing.

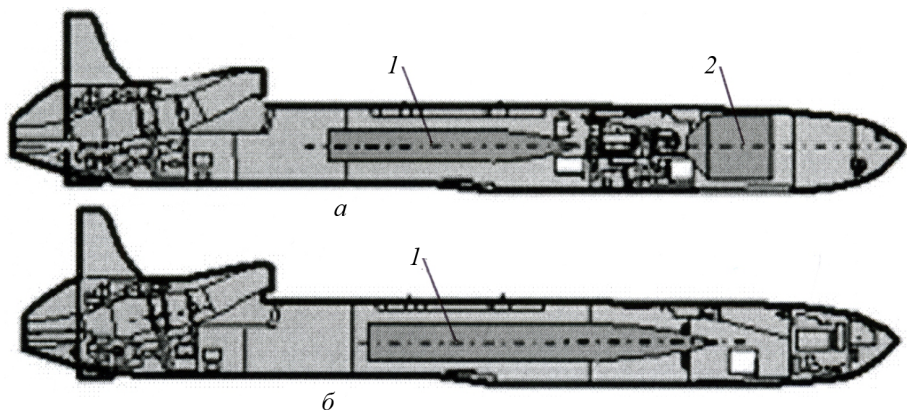
В настоящей статье рассматриваются проблемы развития наиболее молодого вида боеприпасов — боевого снаряжения (БС) таких управляемых ракет (УР), как крылатые (КР), противокорабельные (ПКР) и зенитные управляемые (ЗУР) ракеты. Под БС понимается совокупность боевой части (БЧ) и взрывательного устройства (ВУ), а проблемы их развития охватывают область ударно-проникающего (кинетического) действия.

Существенному прогрессу в развитии за рубежом ударно-проникающих или кинетических БЧ КР содействовала принятая в 1991 г.

программа НАТО по созданию бетонобойных БЧ повышенной проникающей способности (до 6,0 м железобетона) для управляемых авиабомб (УАБ) и КР, в которой приняли участие ведущие боеприпасные страны в мире [1]: США, Великобритания, Германия и Франция (на 1991 г. в ведущие боеприпасные страны мира входили также Китай и СССР, а по поводу современной России — нет данных). На правах доминирующей в НАТО страны США разделили работы по программе в полном соответствии с известной русской народной сказкой “о мужике и медведе, о вершках и корешках”. США взялись за разработку унитарных бетонобойных БЧ (УББЧ), а союзникам-европейцам отдали “несъедобную” часть — тандемную бетонобойную БЧ (ТББЧ) [1].

Боевые части КР в программе НАТО имели второстепенное значение по отношению к БЧ УАБ, где заказчиками являлись военно-воздушные силы (ВВС), поэтому первоначально включали только КР воздушного базирования, в том числе от США — КР “Боинг” AGM-86C CALCM, которая отличалась от стратегической ядерной КР AGM-86B полубронебойной БЧ (ПББЧ) обычного снаряжения WDU-25B массой 454 кг от УР “Буллпап” AGM-12C с удлинением  $\lambda = 3,1$  [2] (где  $\lambda$  — отношение длины БЧ  $l$  к ее максимальному диаметру  $d$ ). Среди отечественных боеприпасов отсутствуют полубронебойные, а в качестве эквивалента зарубежным ПББЧ можно указать только толстостенные фугасные авиабомбы (ФАБ), которые обозначаются ФАБ ТС и предназначаются для поражения железобетонных укрытий, бетонированных взлетно-посадочных полос аэродромов, бетонных и стальных мостов, фортификационных сооружений и т.д. [2]. Полубронебойные БЧ КР США в 1991 г. в операции “Буря в пустыне” показали недостаточную проникающую способность [1].

Характерно, что разработка БЧ для КР AGM-86C велась авиаракетными (“Бритиш Аэроспейс” (Великобритания) — ТББЧ, “Локхид-Мартин” (США) — УББЧ [1]), а не арсенальными (боеприпасными) фирмами. С полным соблюдением формальных приличий в 1999 г. в США были проведены сравнительные испытания ТББЧ BROACH ( $\lambda = 7,43$  [3]) и УББЧ AUP-3M ( $\lambda = 9,75$  [3]) (рис. 1 [3]), где как и ожидалось, победила УББЧ. Американцы отклонили ТББЧ из-за ее высокой стоимости [4], хотя ее основной дефект — чрезвычайно высокая уязвимость. Крылатая ракета с УББЧ AUP-3M получила индекс AGM-86D (2002 г., здесь и далее указывается год принятия на вооружение), а ее БЧ является отделяемой. Механизм отделения БЧ отработывался фирмой “Локхид-Мартин” более четырех лет (с 1997 по 2001 г. [4]), а американские ракетчики “наступили на те же грабли”, что и отечественные ракетчики в 1950-е гг. при разработке в течение почти 5 лет отделяемой БЧ подводного хода для ПКР (корабельного снаряда



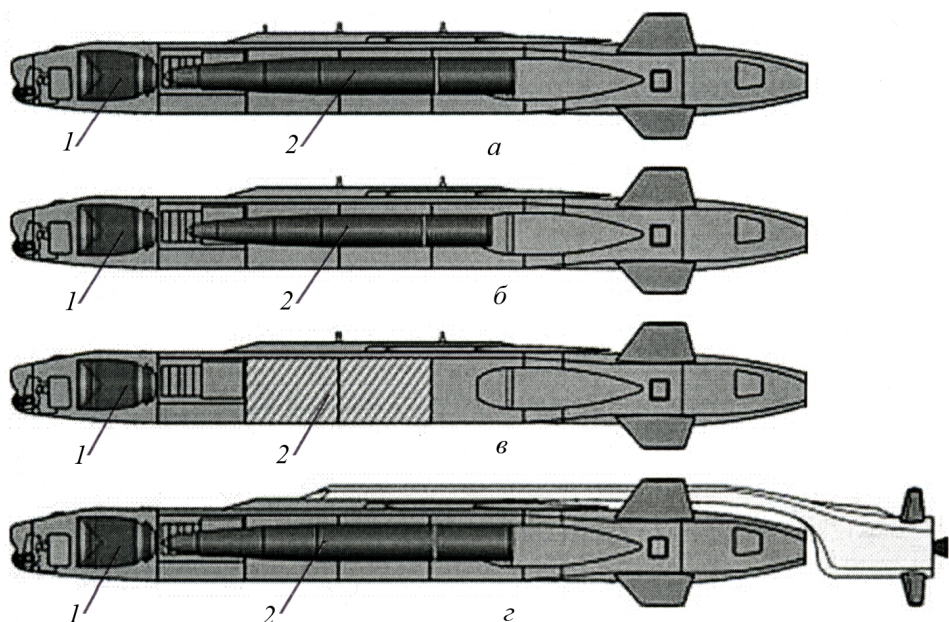
**Рис. 1. Варианты КР AGM-86D (США, 2002 г.) для сравнительных испытаний в 1999 г.:**

*a* – с ТББЧ BROACH (Великобритания), которая состоит из основной проникающей БЧ (1) и предзаряда (2); *б* – с УББЧ AUP-3М (США), которая обозначена (1)

“Щука” (КСЦ), 1958 г.) [5]. В отличие от отечественной отделяемой БЧ ПКР КСЦ, где реализовывалась немецкая идея о поражении корабля в подводную часть [5], необходимость отделения УББЧ явилась следствием отдельной от КР разработки БЧ и применения программируемого ВУ (ПВУ).

Если американцы отказались от применения ТББЧ на КР по сути дважды (на этапе разработки программы НАТО в 1991 г. и на этапе сравнительных испытаний в 1999 г.), то упорные немцы довели свою ТББЧ MEFISTO ( $\lambda = 8,21 \dots 9,43$  [6]), разработанную совместно с Францией [1], до реализации на КР TAURUS KEPD-350 [6] совместной разработки со Швецией. Все модификации КР KEPD-350 (2004) имеют ТББЧ или предзаряд (рис. 2 [6]), наличие которого позволяет отнести все модификации указанной КР к тем, которые максимизированы по уязвимости, особенно для воздействия малокалиберных зенитных артиллерийских комплексов (ЗАК). Отметим, что в создании КР KEPD-350 со шведской стороны принимала участие фирма “Бофорс”, которая известна со Второй мировой войны малокалиберными зенитными автоматами. В итоге германо-шведская КР TAURUS KEPD-350 представляет собой практически идеальную мишень для уничтожения с помощью ЗАК. Следует также отметить, что ТББЧ, широко применяемые в неуправляемых ракетах и противотанковых управляемых ракетах, неприемлемы для КР.

В отличие от рассмотренных КР, несомненным достижением программы НАТО можно считать создание ПВУ [1]. Отечественные инженеры в 1970–1980-х гг. называли их “адаптируемыми”, но проводимые разработки не были реализованы. Военно-воздушные силы РФ трактуют ПВУ только как возможность, предоставляемая летчику в полете, задавать режим работы ВУ (неконтактный, контактный

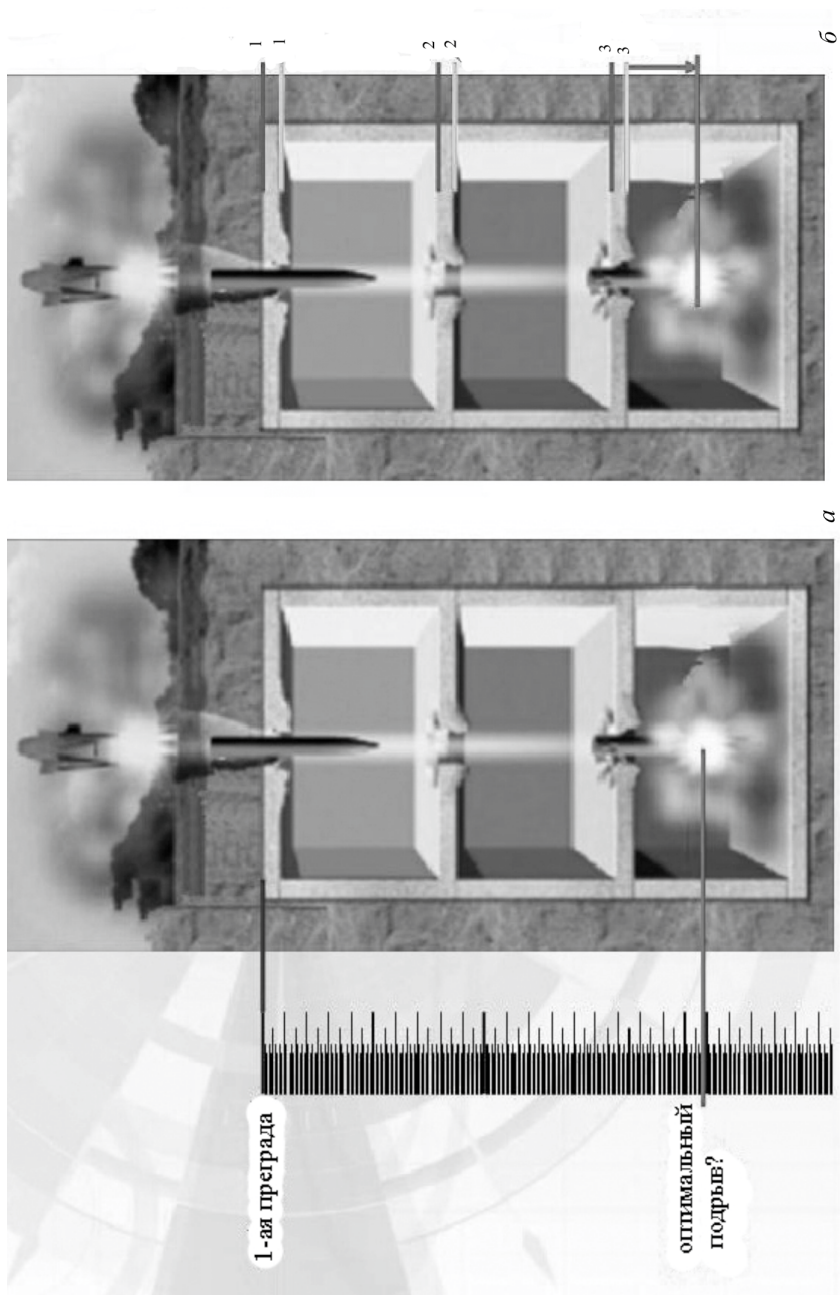


**Рис. 2. Семейство КР TAURUS KEPD-350 (Германия–Швеция, 2004 г.) с ТББЧ MEFISTO (Германия–Франция):**

*a* – KEPD-350 – базовая модель; *1* – предзаряд, *2* – основная проникающая БЧ ( $\lambda = 9,43$ ); *б* – KEPD-350L – облегченная модель (Швеция) ( $\lambda = 8,21$ ); *в* – KEPD-350MP – модель для использования различных БЧ (осколочных, фугасных, кассетных и др.) ( $\lambda = 3,18$ ); *г* – KEPD-350CL – модель для наземного (надводного) старта ( $\lambda = 9,43$ )

с выбором фиксированной задержки подрыва и т.д.). На самом деле основные качества ПВУ проявляются в области конечной или терминальной баллистики [1].

Множество размещенных в Интернете схем работы ПВУ сопровождаются девизом: “подорвать там, где надо!”. Это может не получиться у взрывателя с фиксированной задержкой подрыва, а для ПВУ эта задача выполнима (рис. 3, [7]). Дело в том, что при ударе о первую преграду поражаемой цели (рис. 3, *a*, [7]) начинает функционировать устройство замедления подрыва (пиротехническое, электронное или др.) с заранее установленной фиксированной задержкой подрыва БЧ. Тогда в расчетном случае (см. рис. 3, *a*) подрыв БЧ осуществляется в заданной части цели, а в нерасчетном случае (подход КР к цели под углом, отличным от угла при подходе по нормали, искривление по разным причинам траектории проникающей БЧ (ПрБЧ) при проникании в различные среды или пробитии различных преград) оптимальный подрыв БЧ становится невозможным. Однако ПВУ способно различать необходимое число преград разных типов путем сравнения данных, заложенных в его электронную память, с информацией, поступающей со встроенного акселерометра, измеряющего ударные за-



**Рис. 3. Принцип действия ПВУ по наземным и надводным целям:**

*а* — ВУ с фиксированным временем задержки подрыва ПрБЧ; *б* — ПВУ, способное различать пробиваемые преграды цели 1-1, 2-2 и 3-3

медления (отрицательные ускорения) при проникании или пробитии одной или нескольких преград (на рис. 3, б, [7] преграды 1-1, 2-2, 3-3). Программируемое взрывательное устройство способно подсчитать число пробиваемых преград, имеющих разные плотность и твердость, а также пройденное расстояние и правильно вычислить время подрыва БЧ [1]. Для КР применяются ПВУ FMU-152 JPF (Joint Programmable Fuze) совместной разработки США и Германии и ПВУ FMU-159 HTSF (Hard Target Smart Fuze) разработки США [8], а в названии программы по созданию последнего (в скобках указаны названия программ) содержится слово “smart”, т.е. “умный”. Применение ПВУ позволяет исключить из конструкции ПрБЧ механические устройства в разрывном заряде, используемые для подрыва БЧ при разрушительных для корпуса запределных нагрузках. Стоимость зарубежных ПВУ, выдерживающих перегрузки до 10000, не превышает 2,5... 3,5 тыс. долларов США, что наводит на мысли об их закупке. Однако зарубежные КР являются дозвуковыми, а подавляющее число отечественных — сверхзвуковые, что приводит к более высоким уровням действующих перегрузок при пробитии или проникании и неприменимости зарубежных ПВУ.

Кроме того, КР и ПКР отечественной разработки могут компоноваться по схеме “ракета-двигатель” [9, 10], когда идея отделения БЧ практически нереальна (рис. 4, [9]). Поэтому подменить задачу динамики КР/ПКР задачей динамики ПрБЧ в области конечной (терминальной) баллистики, как это сделали в США и в Германии, а отечественные разработчики УР и БЧ делают десятилетиями, не представляется возможным. Существует еще одна особенность отечественных КР и ПКР, являющихся УР двойного назначения по американской терминологии [2] и обремененных взаимозаменяемыми с обычными БЧ ядерными или термоядерными БЧ имплозивного типа, а общий отсек БЧ

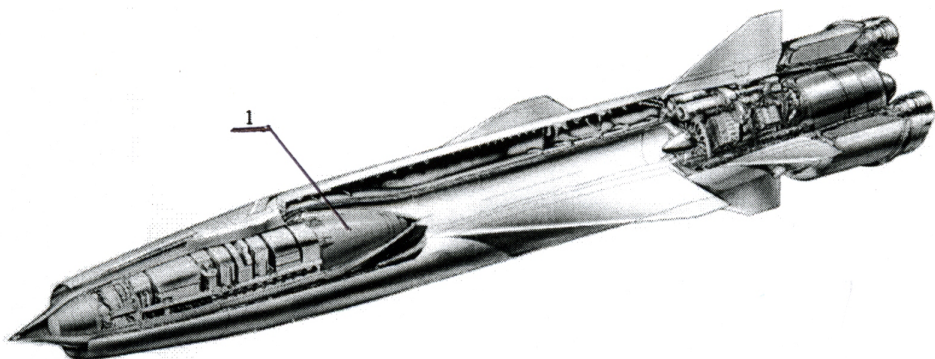


Рис. 4. Компоновочная схема ПКР 3М45 ПКРК “Гранит” (СССР, 1983 г.):  
(1 — ПрБЧ,  $\lambda = 1,65$ )

из-за этого имеет номинальное удлинение  $\lambda = 1,5 \pm 0,2$  [2] (у УББЧ АУР-3М  $\lambda$  свыше 9 [3]).

Можно отметить, что раздельное проектирование ПКР и ПрБЧ для ПКР 3М45 (СССР, 1983 г.) противокорабельного ракетного комплекса (ПКРК) “Гранит” (компоновка “ракета–двигатель” [9]) привело к неуместной форме головной части ПрБЧ (типа бетонобойного артиллерийского снаряда [11]), так как в пробитии корабельных преград ПрБЧ ( $\lambda = 1,65$  [9, 11]) не участвует, что показано на основе численного моделирования (МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1981 г.) взаимодействия ПКР с преградой. Что касается современных ПКР/КР типа “Брамос” (Россия–Индия, 2006 г., компоновка “ракета–двигатель” [10]), то на основе численного моделирования пробития бетонной преграды ПрБЧ ( $\lambda = 1,54$  [10]) и КР получено существенное различие (рис. 5, где  $h/d$  – отношение толщины преграды к диаметру УР или ПрБЧ), которое еще более очевидно при пробитии корабельных преград.

Возможный вариант проведения работ по конечной (терминальной) баллистике ПКР можно продемонстрировать на примере ПКР 4К80 ПКРК “Базальт” (СССР, 1975 г.) [12], которая в 1980-е гг. наряду с другими элементами модернизировалась путем замены фугасно-кумулятивной БЧ на ПрБЧ ( $\lambda = 1,33$  [11]), реализованную в ПКР 3М70 ПКРК “Вулкан” (1987) [13]. Путем физического моделирования на упрощенных уменьшенных моделях ПКР в МВТУ им. Н.Э. Баумана было установлено, что БЧ не участвует в непосредственном пробитии преграды, получена физическая картина процесса взаимодействия ПКР с преградой и его физико-механическая модель (1974–1976), реализованная в расчетную модель путем численного моделирования (1976–1979). Расчетным путем было установлено существенное влияние на процесс нагружения ПрБЧ механических свойств впереди лежащей по отношению к отсеку БЧ бортовой аппаратуры (БА) (1979–1980), что явилось основанием для исследований механических свойств БА ПКР 4К80 при статическом нагружении (МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1983 г.).

Однако передача ЦКБМ (ныне ОАО “ВПК “НПО машиностроения”) МВТУ им. Н.Э.Баумана для испытаний штатной БА явилась одной из причин нехватки ПКР со штатной БА для испытаний на ракетном треке НИИ “Геодезия”. Поэтому в ЦКБМ пришлось в экстренном порядке разработать, изготовить и использовать натурные механические эквиваленты БА для сборки ПКР для натурных испытаний (1984–1985). В результате довольно стихийно сформировался возможный алгоритм работ, сопровождающий создание или модернизацию ПрБЧ УР с обеспечением научно-технической базы создания ПВУ. На примере

численного моделирования взаимодействия ПКР типа “Брамос” с корабельной преградой можно еще раз показать существенное различие динамики ПрБЧ ( $\lambda = 1,54$ ) в составе ПКР и автономно (рис. 6), а также в целом абсурдность попыток подмены одной динамики другой при отдельной от ПКР разработке ПрБЧ.

На основе численного моделирования можно получать истории замедления ПрБЧ в составе УР для случаев пробития бетонных и корабельных преград, которые не только показывают различия динамики ПрБЧ в составе УР и автономно, но и крайне необходимы для расчета на прочность корпуса ПрБЧ, стойкости разрывного заряда и при создании ПВУ. Однако в связи со сложной динамикой УР в задачах конечной (терминальной) баллистики требуется подтверждать результаты численного моделирования экспериментальными данными, которые можно получать путем физического моделирования на уменьшенных

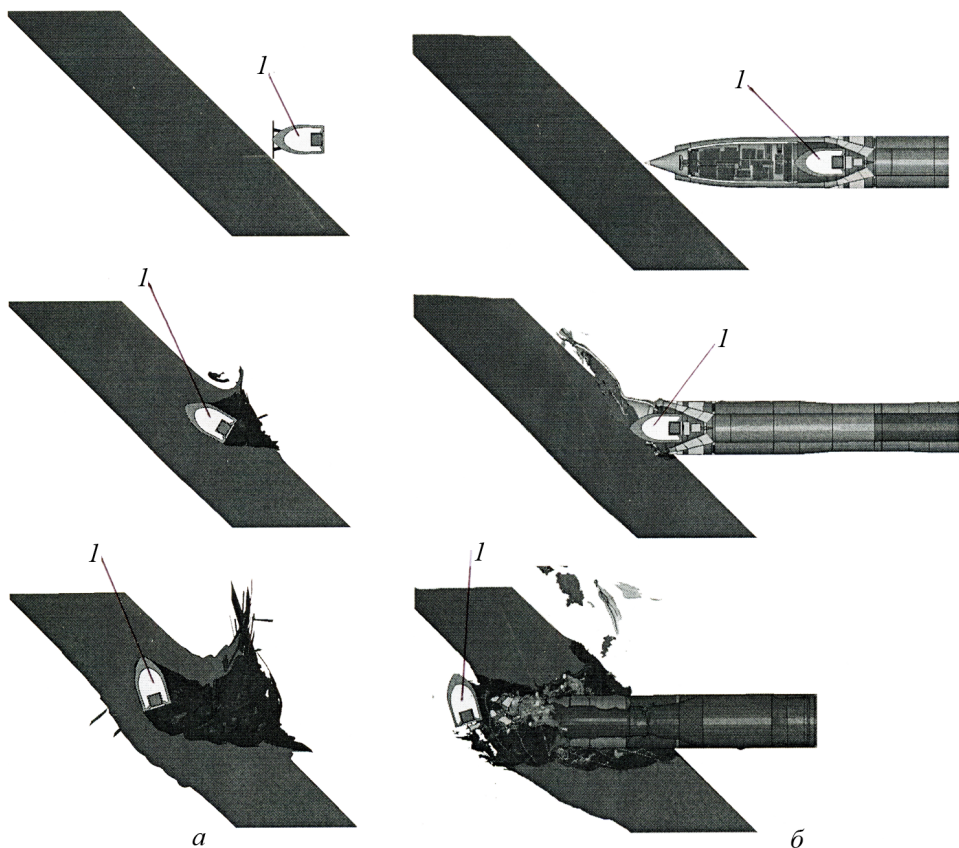


Рис. 5. Сравнение взаимодействия с бетонной преградой толщиной 1,0 м под углом к нормали  $45^\circ$  при скорости удара 700 м/с на основе численного моделирования ПрБЧ с  $h/d = 2,29$  (а) и КР типа “Брамос” с  $h/d = 1,14$  (б) в различные моменты времени (сверху вниз):

а – 0; 2; 5,6 мс; б – 0; 3; 9 мс; I – ПрБЧ,  $\lambda = 1,54$



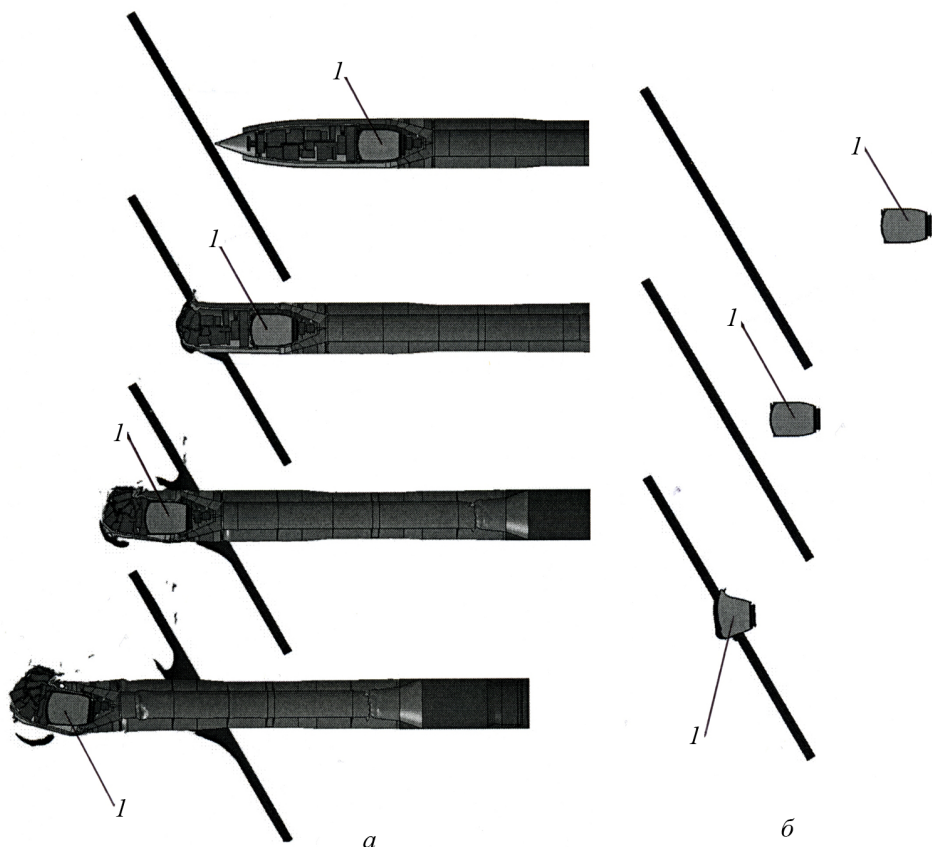


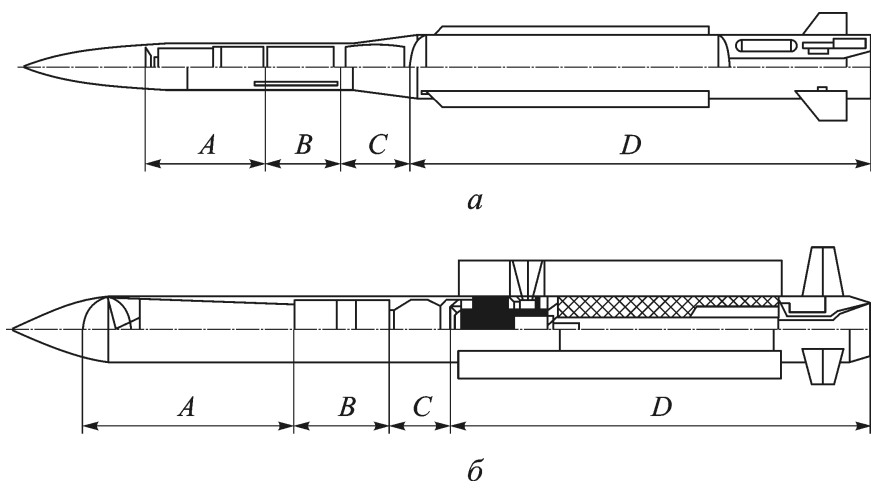
Рис. 6. Сравнение взаимодействия с корабельной преградой толщиной 45 мм под углом к нормали  $30^\circ$  при скорости удара 700 м/с на основе численного моделирования ПКР типа “Брамос”  $h/d = 0,026$  (а) и ПрБЧ  $h/d = 0,038$  (б) в одинаковые моменты времени (сверху вниз) 0, 2, 4, 6 мс ( $I$  – ПрБЧ,  $\lambda = 1,54$ )

моделях (полунатурных с коэффициентом уменьшения до 10 и упрощенных с коэффициентом уменьшения от 10 до 50 [14, 15]), а также единичными натурными испытаниями.

Одним из сдерживающих факторов в задачах конечной (терминальной) баллистики УР являются недостаточно изученные механические свойства БА, которые в ряде случаев не изучаются под предлогом быстрой и даже очень быстрой миниатюризации БА. Однако ожидания скорой миниатюризации БА не подтверждаются результатами анализа развития наиболее распространенной за рубежом ПКР семейства “Гарпун” (США), когда модификация С с радиолокационной головкой самонаведения (ГСН) имеет увеличение на 31 % массы БА, а модификация Е с оптико-электронной ГСН и подсистемой JPS имеет увеличение в 2,67 раза массы БА по отношению к массе БА первой модификации А [16, 17]. Аналогичная ситуация и у БА приборных отсеков баллистических ракет США [16], которых нельзя упрекнуть в

технической отсталости. Следует также отметить, что все зарубежные ПКР в качестве БЧ имеют ПББЧ с удлинением  $\lambda$  от 2,0 до 3,1 [2].

Из анализа компоновочных схем современных ЗУР (ЗУР 9М38 зенитно-ракетного комплекса (ЗРК) “Бук” (СССР–Россия, 1980–1994 гг.) [18], ЗУР 48Н63 ЗРК С-300П(Ф) (СССР–Россия, 1984–1999 гг.) [19], ЗУР 9М82 ЗРК С-300В (СССР, 1988 г.) [20], ЗУР ЗРК “Астер” 30/15 (Франция–Италия, 2002 г.) [21] следует, что они по своей компоновке приближаются к ПКР в связи с увеличением дальности полета и применением комбинированных систем самонаведения. Длина впередилежащих по отношению к отсеку БЧ отсеков БА может достигать от 3 до 8 длин отсека БЧ. Особый интерес представляют ЗУР ЗРК корабельного базирования, так как с 1961 г. отечественный ВМФ выдвигает требование к любым УР корабельного базирования о необходимости поражения надводных целей (в качестве второй цели) [5]. Такowymi являются ЗУР ЗРК “Бук” (рис. 7, а, [18]) с названием корабельной версии ЗРК М-22 “Ураган” [22] и ЗРК С-300Ф, а осколочные и осколочно-фугасные БЧ контактного действия на внешнем контуре цели у подобных ЗУР могут заменяться на проникающе-осколочные. Современные тенденции развития ЗУР отражает франко-итальянский ЗРК “Астер”, где ЗУР (рис. 7, б, [21]) создавалась для прямого попадания в воздушную цель (БЧ с  $\lambda = 0,9$  [21]). В связи со снижением промахов ЗУР и их стремлением к нулю, актуальными становятся данные о фугасном и осколочном действии БЧ УР, полученные для ближней зоны взрыва (менее 20 приведенных радиусов БЧ).



**Рис. 7. Компоновочные схемы современных ЗУР:**

*а* – ЗУР 9М38 ЗРК “Бук” (СССР–Россия, 1980–1994 гг.); *б* – ЗУР ЗРК “Астер” (Франция–Италия, 2002 г.) в полетной конфигурации (без стартового ускорителя); *A* – ГСН; *B* – приборный отсек; *C* – отсек БЧ; *D* – твердотопливный маршевый двигатель

В целях существенного снижения затрат на натурные испытания УР представляется целесообразной разработка механических эквивалентов БА. Первый положительный опыт в области натуральных механических эквивалентов БА получен в ОАО “ВПК “НПО машиностроения”, а в области уменьшенных механических эквивалентов в МГТУ им. Н.Э. Баумана [16]. Кроме того, целесообразно применение технологий акселерометрии, разработанных в МГТУ им. Н.Э. Баумана, в экспериментальных исследованиях как на уменьшенных моделях, так и при проведении натуральных испытаний, для получения историй замедления ПрБЧ в составе УР и верификации применяемых методов численного моделирования, что очень важно при создании научно-технической базы разработки ПВУ [23, 24].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Егоров К.* Перспективные бетонобойные авиационные боеприпасы стран НАТО // Зарубежное военное обозрение. 2001. № 2. С. 36–38.
2. *Пусев В.И., Овчинников А.Ф., Марков В.А., Дулин В.Е.* Особенности общего проектирования и конструирования боевых частей управляемых ракет двойного назначения // Боеприпасы и высокоэнергетические конденсированные системы. 2008. Вып. 1. С. 36–47.
3. *Parsch A.* Boeing AGM-86 ALCM // Directory of US military rockets and missiles. URL: <http://www.designation-systems.net/dusrm/m.86.html> (дата обращения 16.01.2012).
4. *Алексеев А.* Проникающая боевая часть для крылатой ракеты AGM-86C CALCM // Зарубежное военное обозрение. 2000. № 2. С. 56–57.
5. *Кузин В.П., Никольский В.И.* Военно-морской флот СССР 1945–1991. СПб.: Историческое морское общество. 1996. 653 с.
6. *Крылатая ракета большой дальности TAURUS KEPD 350* // Ракетная техника (информационно-новостная система). URL: <http://rbase.newfactoria.ru/missile/webb/kepd-350/kepd-350.shtml> (дата обращения 10.01.2012).
7. *Muthing H.* Penetration effector systems from EADS/TDW//Precision Strike Symp. PSTS-05. 18 October 2005. Kossiakoff Conf. Center The Johns Hopkins Univ. Laurel, Maryland. URL: <http://www.dtic.mil/ndia/2005psts/muthing.pdf> (дата обращения 10.01.2012).
8. *Siefke W.* Precision strike SPO // NDIA Fuze Conf. Air Force Fuze Overview. 4 April 2003. URL: <http://www.dtic.mil/ndia/2003fuze/siefke.pdf> (дата обращения 10.01.2012).
9. *Комплекс П-50/П-700 Гранит — SS-N-19 SHIPWRECK.* URL: <http://militaryrussia.ru/blog/topic-389.html> (дата обращения 16.01.2012).
10. *Комплекс БраМос.* URL: <http://military.tomsk.ru/blog/index-11.html> (дата обращения 16.01.2012).
11. *ОАО “ФНПЦ “Алтай”.* URL: <http://frpc.secna.ru/spec/bch.php> (дата обращения 10.01.2012).
12. *П-500* // Википедия (свободная энциклопедия). URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%CF-500> (дата обращения 16.01.2012).
13. *П-1000 Вулкан* // Википедия (свободная энциклопедия). URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%F-1000> (дата обращения 16.01.2012).

14. *Жариков А.В., Марков В.А., Овчинников А.Ф., Пусев В.И.* Вопросы физического моделирования высокоскоростного взаимодействия летательного аппарата с тонким металлическим экраном // *Материалы XVII Междунар. симпоз. “Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред” им. А.Г. Горшкова.* Ярополец, 14–18 февраля 2011 г. Т. 2. М.: ООО “ТР-принт”, 2011. С. 110–118.
15. *Пусев В.И.* О физическом моделировании деформирования и разрушения конструкций при действии ударных и взрывных нагрузок // *Вестник Нижегородского университета им. Н.Н. Лобачевского.* 2011. № 4. Ч. 4. С. 1722–1724.
16. *Марков В.А., Овчинников А.Ф., Пусев В.И.* Модельная среда для внутреннего оборудования носовых отсеков летательных аппаратов // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение.* 2010. Спец. вып. С. 196–206.
17. *Sopp C.* McDonnal-Douglas AGM-84A Harpoon and AGM-84E SLAM. URL: <http://www.ausairpower.net/TE-Harpoon.html> (дата обращения 10.01.2012).
18. *Ангельский Р.* Самоходный зенитный ракетный комплекс “Бук”. ЗРК ПВО Сухопутных войск. Ч. 1. // *Техника и вооружение.* 2002–2004 гг. URL: [http://vadimsvar.narod.ru/ALL\\_OUT/TiVOut0204/PVSV1/PVSV1027.htm](http://vadimsvar.narod.ru/ALL_OUT/TiVOut0204/PVSV1/PVSV1027.htm) (дата обращения 10.01.2012).
19. *Ганин С., Карпенко А., Ангельский Р.* Система С-300П. ЗРК ПВО страны // *Техника и вооружение.* 2002–2004. URL: [http://vadimsvar.narod.ru/ALL\\_OUT/TiVOut0204/S300P/S300P001.htm](http://vadimsvar.narod.ru/ALL_OUT/TiVOut0204/S300P/S300P001.htm) (дата обращения 10.01.2012).
20. *Самоходный зенитный ракетный комплекс С-300В.* URL: <http://www.ausairpower.net/APA-Giant-Gladiator.html#mozTocId199011> (дата обращения 10.01.2012).
21. *Зенитная ракетная система “Астер”* (краткое описание) // *Вестник ПВО.* URL: <http://pvo.guns.ru/other/france/aster/index.htm> (дата обращения 10.01.2012).
22. *Корабельный многоканальный ЗРК средней дальности М-22 “Ураган” (SAN7 Gadfly)* // *Вестник ПВО.* URL: <http://pvo.guns.ru/naval/m22.htm> (дата обращения 09.11.2012).
23. *Исследование динамических механических свойств песчаного грунта методом акселерометрии / В.А. Велданов, А.В. Жариков, В.А. Марков и др.* // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение.* 2008. Спец. вып. С. 79–87.
24. *Исследование динамических механических свойств алюминиевых сплавов методом акселерометрии / В.А. Велданов, В.А. Марков, В.И. Пусев и др.* // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение.* 2010. № 2 (79). С. 37–46.

Статья поступила в редакцию 27.11.2012