

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИВУЧЕСТИ БОЕВЫХ
СРЕДСТВ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ СУХОПУТНЫХ ВОЙСК**
**TOPICAL ISSUES OF THE STUDY OF THE SURVIVABILITY OF COMBAT
VEHICLES MISSILE SYSTEMS OF THE GROUND FORCES**

По представлению чл.-корр. РАРАН С.А. Баканеева

Е.В. Гайдуков, М.Д. Пахарев, С.В. Колесниченко

Михайловская военная артиллерийская академия

E.V. Gaidukov, M.D. Pakharev, S.V. Kolesnichenko

Исследованы подходы по оцениванию живучести реактивных снарядов большой дальности на этапе полета. Рассмотрена формализация процесса преодоления средств противоракетной обороны (ПРО) противника, а также особенности поведения управляемого реактивного снаряда (УРС) в ходе выполнения высокодинамичных маневров. Сделан акцент на важность повышения динамической ошибки наведения средств противоракетной обороны противника. Проведена экспресс-оценка влияния показателей живучести на показатель боевой эффективности применения образцов ракетного вооружения. **Ключевые слова:** бортовая аппаратура системы управления, исполнительные органы, рулевые приводы, аэродинамические рули, противоракетная оборона, газодинамические рули, усилители, траектория полета, циклоида, живучесть, точность наведения, эффективность.

Approaches to assessing the survivability of long-range rockets at the flight stage are investigated. The formalization of the process of overcoming the enemy's missile defense means, as well as the features of the behavior of a guided missile during highly dynamic maneuvers are considered. Emphasis is placed on the importance of increasing the dynamic error of targeting the enemy's missile defense. An express assessment of the impact of survivability indicators on the combat effectiveness of the use of missile weapons samples was carried out.

Keywords: on-board control system equipment, executive bodies, steering drives, aerodynamic rudders, missile defense, gas-dynamic rudders, amplifiers, flight path, cycloid, survivability, guidance accuracy, efficiency.

Введение

Решение проблемы повышения живучести ракет (реактивных снарядов) на траектории предполагает принятие целого ряда мер комплексного характера, направленных на увеличение вероятности преодоления ПРО и повышение эффективности боевого применения

ракетных комплексов (РСЗО) в целом. Живучесть реактивных снарядов в полете можно в значительной степени увеличить оптимальными мерами противодействия системе ПРО [2, 3, 6–9, 13].

Меры такого противодействия можно условно разделить на активные и пассивные. К активным относят:

- поражение и вывод из строя наиболее важных элементов ПРО;
- «ослепление» средств разведки и визирования системы ПРО;
- нарушение системы управления боевыми средствами ПРО.

Принятие данных мер позволяет повысить живучесть УРС в полете за счет снижения вероятности поражения его на траектории в зоне ПРО. В этом случае можно добиться значительного снижения вероятностей обнаружения, успешной подготовки к пуску и пуска, а также наведения зенитной управляемой ракеты (ЗУР) в полете, что в совокупности приведет к повышению вероятности преодоления ПРО [5–8].

Общие вопросы развития образцов высокоточного вооружения

Необходимость в разработке нового образца ракетного вооружения (РВ) возникает примерно раз в 10–12 лет по причине морального старения. Процесс создания и внедрения нового комплекса ВВТ связан с заменой большого количества оборудования, средств управления, элементов комплекса, что требует крупных материальных затрат и времени [7].

Поэтому при создании ракетного комплекса (РК), способного решать новые задачи, целесообразно идти по пути модернизации основного элемента РК — ракеты, при сохранении (по возможности без изменения) остального наземного оборудования и технологии эксплуатации. Такой подход позволяет в короткие сроки при сравнительно малых затратах создавать РК, способный решать более сложные задачи. Так как ракеты обычно модернизируются через несколько лет, то базовый образец должен предусматривать возможность проведения двух-трех модернизаций [2, 7–10].

Основным разделом ТТЗ, создаваемого на основе НИР, являются тактико-технические требования к вооружению.

Тактико-технические требования (ТТТ) к образцу (комплексу) ВВТ — это упорядоченная по определенному замыслу совокупность количественных или качественных характеристик образца (комплекса) вооружения, определяющих его свойства (боевые возможности), используемые для выражения потребностей или ограничений в отношении этого образца (комплекса).

Разработка ТТТ — важный и ответственный этап создания РК, ибо в зависимости от того, насколько обоснованно будут выработаны ТТТ, настолько правильно и своевременно будет разработан РК в целом и его элементы.

Исходными данными для решения задач по обоснованию ТТТ к вооружению являются задачи, решаемые при разработке программ развития вооружения, при определении направлений развития того или иного вида вооружения. Например, в результате решения одной из задач определяется оптимальное соотношение между различными видами вооружения сухопутных войск (СВ).

Зная потенциал, присущий данному виду вооружения, можно прогнозировать процесс накопления (замены) этого вида вооружения на программный период. Для решения этих задач необходимо знать прогнозную оценку потенциала определенного образца вооружения, которая определяется совокупностью его свойств или качеством образца.

В разделе «Тактико-технические требования к образцу» указывают ТТТ, характеристики, нормы, показатели и другие параметры, определяющие назначение, боевые возможности, условия эксплуатации и боевого применения.

Раздел должен состоять из следующих подразделов: требования по назначению; требования по радиоэлектронной защите (для образцов с радиоэлектронными средствами (РЭС)); требования по живучести и стойкости к внешним воздействиям; требования по надежности; требования по эргономике и технической эстетике; требования по эксплуатации, удобству технического обслуживания (ТО), ремонта и хранения; требования по транспортабельности; требования по безопасности; требования по обеспечению сохранения государственной и военной тайны; требования по стандартизации и унификации; требования по технологичности; конструктивные требования [7–10].

Номинальные значения величин, определяющие требования к ТТХ образца, приводят с допустимыми отклонениями или приводят их наибольшие (наименьшие) значения. Статистические параметры устанавливают с указанием уровня доверительной вероятности, которому соответствует данное значение параметра.

Рассмотрим более подробно содержание подраздела «Требования по назначению», он устанавливает:

– тактические и тактико-технические требования, обеспечивающие выполнение образцом своих функций в заданных условиях боевого применения и эксплуатации с учетом противодействия противника (в том числе ведение противником РЭБ) и аварийных ситуаций;

– нормы и количественные показатели, определяющие эффективность образца (пространственные пределы работы, точность выполнения операций, время готовности к работе и др.);

– характеристики (параметры) образца, обеспечивающие выполнение возложенных на него задач (мощность, чувствительность, КПД, грузоподъемность и др.), если их значения по тактическим соображениям должны быть ограничены или нормированы;

– порядок и способ взаимодействия с сопрягаемыми объектами (например, возможность использования РК в автоматизированной общевойсковой системе управления (СУ));

– вероятностно-временные и другие характеристики и показатели, определяющие целевое использование создаваемого образца, или показатели, значения которых по тактическим соображениям должны быть нормированы (время готовности к использованию, время непрерывной или циклической работы и др.).

Если значения задаваемых характеристик (параметров) могут быть установлены только с учетом оперативно-тактических (или других) условий, то эти условия должны быть обозначены или в ограниченных пределах определены (интенсивность и закон потока входных воздействий, особенности рельефа местности и др.).

Результаты анализа показывают, что необходимость прорыва систем ПРО (ПВО) противника является наиболее важным фактором, который требуется учитывать при разработке аэродинамической схемы реактивного снаряда (РС). Осуществление маршевого полета на малых или предельно малых высотах невыгодно с точки зрения дальности полета, однако имеет особое значение для повышения вероятности прорыва обороны. В связи с этим возможно применение УРС со сверхзвуковыми скоростями для доставки в зону захвата цели. Речь в данном случае идет о непродолжительном по времени

сверхзвуковым броске реактивного снаряда на заранее определенное расстояние от цели. Для уменьшения эффективной площади рассеивания (ЭПР) УРС должна иметь малое лобовое сечение, заостренную форму носовой части, крыло со стреловидной передней кромкой, наклонные боковые поверхности корпуса, минимальную площадь киля, плавные сопряжения компонентов планера. Предусматривается покрытие обшивки радиопоглощающим материалом малой плотности с низкой диэлектрической постоянной, причем его толщина должна быть приблизительно равной наибольшей длине волны рабочего диапазона РЛС. Небольшая скорость полета желательна также для уменьшения нагрева из-за трения воздуха об обшивку, т.е. с точки зрения меньшей тепловой заметности УРС. Горячие части двигателя должны быть экранированы, например, специальной конструкцией воздухозаборника и сопла. Температура истекающих продуктов сгорания может быть снижена путем увеличения числа контуров воздушно-реактивного двигателя, применением сопел, интенсифицирующих смешение газов с окружающим воздухом. В то же время увеличение скорости полета УРС уменьшает время реакции средств ПВО, в результате чего снижается число возможных пусков ЗУР по атакующей ракете. Вероятность прорыва ПВО можно повысить за счет введения в состав бортовой аппаратуры ракет средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ). При этом возможны следующие варианты: установка на УРС станции радиотехнической разведки, которая будет выдавать команды на выполнение маневра уклонения при облучении УРС РЛС противника; оснащение УРС отстреливаемыми передатчиками помех однократного применения; установка на УРС активных средств радиоэлектронной борьбы [1, 7, 10, 13].

Повысить результативность ракетного удара (РУ) УРС также возможно за счет отработки новых тактических приемов, что требует повышения гибкости системы управления. Например, если установлено, что объект поражения уязвим на определенных направлениях подхода атакующей УРС, в бортовую аппаратуру ракеты перед пуском целесообразно вводить специальные команды для изменения траектории ее полета на конечном участке. Кроме того, команды на изменение траектории полета могут вводиться в

следующих целях: маскировки местоположения подразделений, выполняющих пуск УРС; обхода зоны ПВО противника на маршевом участке полета ракеты; обхода холмов, гор и стационарных объектов городской застройки; координации маршрутов полета нескольких УРС при нанесении группового удара; изменения высоты полета ракеты на маршевом участке траектории; компенсации ее сноса от влияния ветра или навигационной ошибки, вследствие ухода гироскопов при пуске на большую дальность; включения головки самонаведения (ГСН) на минимальной дальности от цели для уменьшения вероятности обнаружения ракеты; атаки цели на боевом участке полета по определенному профилю в зависимости от типа цели; выбора режима самонаведения на боевом участке маршрута полета; пролета нескольких второстепенных целей и поражения избранной цели.

Результаты проведенного анализа показывают, что в рамках функционирования системы информационного обеспечения предстартовой подготовки УРС для реализации полета УРС по маршруту необходимо подготовить комплект полетных заданий (ПЗ), формируемый на основе более 100 документов, включающих в себя данные разведывательного, топогеодезического, навигационного и гидрометеорологического обеспечения. Полнота и достоверность информации в реальных условиях обстановки по объектив-

ным причинам не всегда удовлетворяет заданным требованиям [2, 3, 8].

Вместе с тем лицу, принимающему решение, необходимо выбрать маршрут полета УРС с учетом всей имеющейся информации, что, как правило, на практике является проблематичным или невозможным в силу ряда причин. Очевидно, что в настоящее время повышение результативности нанесения ударов УРС обеспечивается в основном за счет технического совершенствования и отработки новых тактических приемов (рис. 1). Вопросы, связанные с обоснованием выбора маршрутов полета УРС с учетом множества факторов, влияющих на результативность нанесения ракетного удара, исследованы явно недостаточно.

Таким образом, возникает необходимость исследования возможности и путей совершенствования высокоточных РСЗО большой дальности (БД) на основе улучшения их технических характеристик, а также реализации методов системного анализа и теории принятия решений [2–8].

Формализация процесса преодоления средств ПРО

К пассивным мерам противодействия системам ПРО относятся различные меры, принимаемые для повышения вероятности преодо-

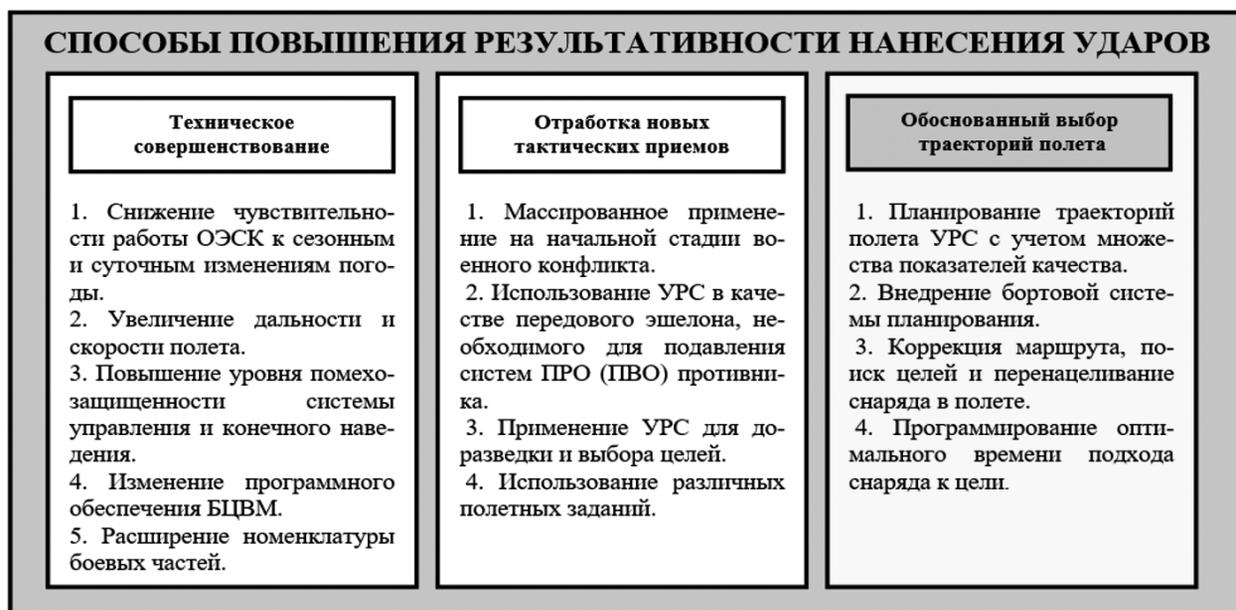


Рис. 1. Способы повышения результативности нанесения ракетных ударов УРС

ния зон ПРО. В свою очередь, эти меры также могут носить активный или пассивный характер. К первым можно отнести создание пассивных помех для радиолокаторов, а также различные виды противоракетного маневра, совершаемого УРС в зоне ПРО с целью ухода от перехвата. Ко вторым — комплекс мер, направленных на уменьшение вероятности обнаружения снаряда на траектории, а именно: рациональное размещение группировок РСЗО; увеличение числа УРС, одновременно преодолевающих зону ПРО и применение многоэлементных боевых частей; уменьшение ЭПР. На рис. 2 представлена декомпозиция живучести применительно к управляемым реактивным снарядам [7].

Рациональное размещение группировок РСЗО влияет в основном на вероятность своевременной подготовки к пуску и пуска ЗУР, так как позволяет в определенных пределах минимизировать значение среднего времени полета УРС от момента его обнаружения до вхождения в зону поражения противоракетного комплекса (ПРК).

Увеличение числа УРС, одновременно преодолевающих зону ПРО, и применение многоэлементных боевых частей затрудняет селекцию целей и значительно увеличивает среднее рабочее время ПРК, что также приводит к снижению вероятности своевременной подготовки к пуску и пуска ЗУР, так как в этом случае приходится решать сложнейшую задачу определения приоритета выбора целей.

Уменьшение ЭПР УРС приводит к снижению вероятности обнаружения на траектории за

счет возрастания среднего времени обнаружения [10–12].

Эффективная поверхность рассеивания цели $\sigma_{ц}$ представляет собой условную величину, характеризующую способность цели отражать падающее на нее электромагнитное излучение. Она может быть выражена в единицах площади (m^2) или в децибелах (дБ), причем

$$\sigma_{ц}(\text{дБ}) = 10 \cdot \lg \sigma_{ц}(m^2),$$

уровню в нуль децибел соответствует величина $\sigma_{ц}$, равная $1 m^2$.

Таким образом, проведя анализ противодействия, можно сделать выводы о том, что вероятность преодоления ПРО в основном определяется соотношениями временных характеристик УРС и ПРК. В свою очередь эти характеристики во многом зависят от выполнения комплекса требований, предъявляемых к УРС по преодолению ПРО.

Оценка боевой эффективности применения ракетных комплексов

При комплексной оценке эффективности боевого применения ракетного комплекса необходимо рассматривать полную схему процесса нанесения ракетного удара по объекту при одном пуске. В данном случае поражение цели является сложным процессом, который можно представить в виде совокупности последовательных этапов работы элементов ракетного комплекса

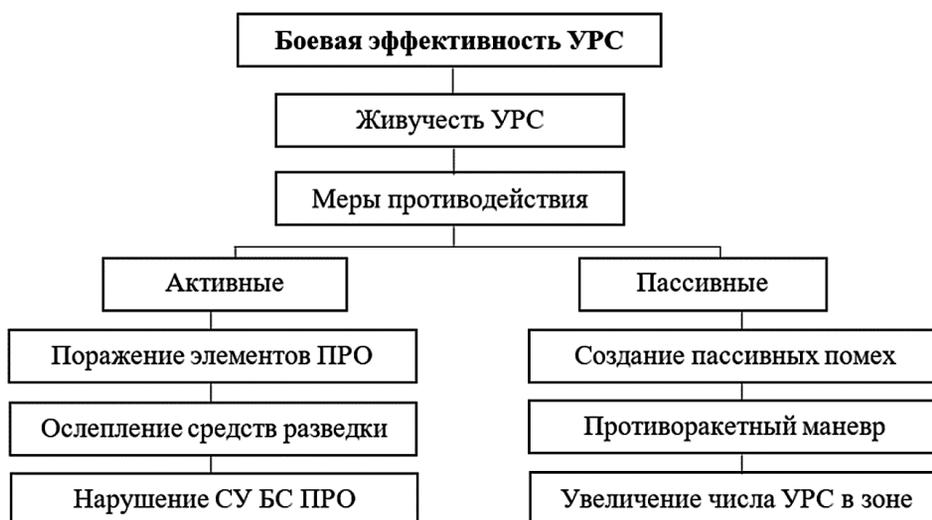


Рис. 2. Декомпозиция свойств живучести УРС

при подготовке к пуску, при пуске в процессе полета и при поражении цели, а также возможностей противодействия системе противоракетной обороны.

Фактор преодоления средств ПРО/ПВО вероятного противника является одним из основных в общей формуле показателя эффективности применения УРС и определяется выражением [7, 8, 13]:

$$W = K_{\text{ог}} P(t_{\text{пр}}) (1 - R_{\text{пор}}) P_{\text{р}} P_{\text{про}} P(\tau) P_1 B_{\text{р}},$$

где W — вероятность успешного применения РСЗО;

$K_{\text{ог}}$ — коэффициент оперативной готовности;

$P(t_{\text{пр}})$ — вероятность безотказного функционирования РСЗО во время проведения операции для пуска управляемого реактивного снаряда;

$R_{\text{пор}}$ — вероятность поражения системы противником;

$P_{\text{про}}$ — вероятность преодоления УРС системы ПРО противника;

$P_{\text{р}}$ — вероятность безотказной работы УРС в полете;

$P(\tau)$ — вероятность того, что цель за время подготовки к пуску и полета ракеты не уйдет с места;

P_1 — вероятность поражения одиночной цели при взрыве боевой части;

$B_{\text{р}}$ — вероятность безотказного функционирования обслуживающего персонала в режиме применения, которая определяется подготовленностью личного состава и условиями его работы.

С целью анализа возможности преодоления ПРО необходимо создание математической модели противодействия и формирование комплексного показателя преодоления ПРО.

Вероятность преодоления ПРО:

$$P_{\text{про}} = 1 - P_{\text{пор}},$$

где $P_{\text{пор}}$ — вероятность непреодоления УРС систем ПРО:

$$P_{\text{пор}} = P_{\text{обн}} P_{\text{пуск}} P_{\text{встр}} P_{\text{зур}},$$

где $P_{\text{обн}}$ — вероятность обнаружения;

$P_{\text{пуск}}$ — вероятность подготовки пуска ЗУР;

$P_{\text{встр}}$ — вероятность встречи ЗУР и УРС;

$P_{\text{зур}}$ — вероятность поражения УРС.

Система ограничений:

$$\begin{cases} P_{\text{пуск}} < P_{\text{пуск}}^{\text{сущ.}}; \\ P_{\text{зур}} < P_{\text{зур}}^{\text{сущ.}}; \end{cases}$$

$$P_{\text{обн}} = \frac{t_{\text{п}}}{t_{\text{обн}} + t_{\text{п}}},$$

где $t_{\text{п}}$ — среднее время подготовки и работы средств обнаружения ПРК при движении УРС по траектории в зоне ответственности ПРО;

$t_{\text{обн}}$ — среднее время обнаружения.

$$P_{\text{встр}} = 1 - \frac{t_{\text{дв}}}{t_{\text{з.п}}},$$

где $t_{\text{дв}}$ — среднее время движения ЗУР от момента пуска до момента встречи;

$t_{\text{з.п}}$ — среднее время пребывания УРС на траектории в зоне поражения ПРК.

Используя полученную математическую модель противодействия, можно провести качественный анализ основных путей повышения живучести ракет и реактивных снарядов на траектории и обосновать вытекающие из него требования, которые должны предъявляться к образцам ракетного вооружения по преодолению систем противоракетной обороны противника.

Выводы

Живучесть управляемого реактивного снаряда заключается в его способности противодействовать ПРО (ПВО) средствам вероятного противника. Меры противодействия в свою очередь делятся на активные и пассивные.

Рассмотренные в материалах статьи вопросы повышения живучести, а как следствие — боевой эффективности применения управляемых реактивных снарядов большой дальности позволят:

- оценивать показатели динамики существующих и перспективных управляемых реактивных снарядов с учетом их влияния на срыв процесса наведения средств ПРО (ПВО) противника;

- оценивать текущие траекторные данные полета управляемых реактивных снарядов

при формировании точки передачи управления, и последующего осуществления высокодинамичного маневра на конечном участке траектории полета;

– повысить показатели живучести управляемых реактивных снарядов с достижением требуемых показателей точности наведения реактивных снарядов при прохождении различных участков траектории полета;

– расширять и дополнять существующие методологические положения методов наведения реактивных снарядов на конечном участке траектории.

Литература

1. Земсков А.В., Земсков В.А. Аналитические частотные методы исследования процессов в многосвязанных непрерывных системах автоматического управления: учебное пособие. — Саратов: СВВКИУ РВ, 1993. 112 с.

2. Гурский Б.Г., Лющанов М.А., Спирин Э.П. и др. Основы теории систем управления высокоточных ракетных комплексов. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 328 с.

3. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Гасюк Д.П. Основы теории эффективности боевых действий РВиА: монография МО РФ, 2003. 168 с.

4. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. / Под ред. В.С. Шебшаевича. — М.: Радио и связь, 1993. 408 с.

5. Толпегин О.А. Конфликтная задача сближения — уклонения с учетом запаздывания поступления информации о движении маневрирующей цели // Известия РАН. 2019. № 4 (109). С. 59–63.

6. Румянцев Г.Н. Обеспечение точности современных ракетных комплексов при разработке

системы управления // Труды ФГУП «НПЦАП». Системы и приборы управления. 2011. № 2. С. 3–12.

7. Мартыщенко Л.А., Филюстин А.Е., Голик Е.С. и др. Военно-научные исследования и разработка вооружения и военной техники: учебник, часть I. — Министерство обороны РФ, 1993. 304 с.

8. Мартыщенко Л.А., Филюстин А.Е., Злотников К.А. Военно-технический анализ ракетного вооружения: учебник. — Л.: ВАА. 1991. 404 с.

9. Остославский И.В., Стражева И.В. Динамика полета. Траектории летательных аппаратов: учебник. — М.: Машиностроение, 1969. 499 с.

10. Земсков А.В. Теория автоматических систем управления: учебное пособие. — СПб.: МВАА, 2005. 312 с.

11. Колесниченко С.В. Разработка методологии обоснования требований к точности чувствительных элементов комплексированных систем управления летательных аппаратов // Мехатроника. Автоматизация. Управление. 2014. № 10. С. 67–72.

12. Колесниченко С.В., Ульянов Г.Н. Особенности построения интегрированных систем управления высокодинамичных объектов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2015. № 11–12 (89–90). С. 29–33.

13. Сурин Д.В. Концепция обеспечения живучести военных объектов ВКС на основе применения системы комплексного противодействия ударам ВТО противника // Сборник научных трудов по результатам межвузовской научно-практической конференции «Современные направления в строительстве и эксплуатации зданий и сооружений». — СПб: ВКА им. А.Ф. Можайского. 2019. С. 9–14.