

УДК 623.093

Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 5. Защитные ограждающие конструкции

Макаренко С. И., Тхакахов А. А.

Актуальность. После начала проведения в 2022 г. Россией специальной военной операции (СВО) на Украине, участились атаки вражеских беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на российские военные и гражданские объекты. В связи с этим, задача противодействия БПЛА стала особенно актуальной. Подавляющая часть работ по этой тематике посвящена использованию средств противовоздушной обороны (ПВО) и радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Однако на практике они показали свою ограниченную эффективность, в связи с чем большое распространение получило использование защитных ограждающих конструкций (ЗОК). **Целью работы** является систематизация и анализ ЗОК для противодействия БПЛА, включая их конструктивные особенности и способы применения. **Результаты.** Статья включает классификацию ЗОК, способы их использования для защиты зданий, фортификационных сооружений и техники, а также выявление недостатков существующих решений. **Элементы новизны работы** заключаются в обобщении опыта СВО в использовании ЗОК и предложении новых подходов к пассивной защите, таких как комбинированные материалы и конструктивные решения. **Практическая значимость.** Материал статьи может быть использован для проектирования ЗОК, которые могут быть использованы при создании новых и модернизации существующих объектов, а также при разработке стандартов защиты от атак БПЛА.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, БПЛА, БЛА, противовоздушная оборона, ПВО, противодействие беспилотным летательным аппаратам, защитная ограждающая конструкция, ЗОК, инженерное сооружение, заграждение, сеть, трос, фортификационное сооружение.

Введение

После начала в 2022 г. проведения Российской Федерацией (РФ) специальной военной операции (СВО) на территории Украины, существенно участились атаки беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на отечественные объекты военного назначения и объекты топливно-энергетического комплекса (ТЭК). По сообщениям средств массовой информации (СМИ) каждый день российским силам противовоздушной обороны (ПВО) приходится отражать до нескольких десятков атак БПЛА Вооруженных сил Украины (ВСУ), причем при такой интенсивности нападений отдельные атаки достигают цели.

Для обеспечения защиты объектов, помимо средств ПВО, на линии боевого соприкосновения (ЛБС), а также в тылу, получили распространение средства радиоэлектронной борьбы (РЭБ), индивидуальные средства огневого поражения БПЛА, а также пассивные средства – защитные ограждающие конструкции (ЗОК).

Библиографическая ссылка на статью:

Макаренко С. И., Тхакахов А. А. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 5. Защитные ограждающие конструкции // Системы управления, связи и безопасности. 2025. № 3. С. 121-158. DOI: 10.24412/2410-9916-2025-3-121-158

Reference for citation:

Makarenko S. I., Tkhakakhov A. A. Counter Unmanned Aerial Vehicles. Part 5. Protective enclosing structures. *Systems of Control, Communication and Security*, 2025, no. 3, pp. 121-158 (in Russian). DOI: 10.24412/2410-9916-2025-3-121-158

Ранее авторы в работах [1-5] уже обращались к рассмотрению вопросов противодействия БПЛА. Однако вопросы использования ЗОК для решения задач противодействия остались не охваченными. Кроме того, вышеуказанные работы вышли в свет до начала СВО, когда тематика противодействия БПЛА не являлась актуальной, а богатый опыт противодействия БПЛА, полученный в последующем в рамках СВО, в то время отсутствовал.

В настоящее время использованию ЗОК для защиты от БПЛА посвящено весьма ограниченное число научных работ. К основным из них относятся [6, 14-19]. Обобщение опыта создания защиты зданий и капитальных сооружений представлено в своде правил «СП 542.1325800.2024. Защитные ограждающие конструкции от беспилотных летательных аппаратов. Правила проектирования» [20], выпущенного Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. Однако, учитывая высокую интенсивность атак БПЛА ВСУ, проработанность вопросов использования ЗОК для защиты от таких атак является недостаточной, а исследование этого вопроса и обобщение имеющегося опыта, является актуальным направлением исследований.

Целью работы является систематизация и анализ различных ЗОК и способов их применения для противодействия БПЛА.

Материал данной статьи декомпозирован на следующие подразделы.

1. Понятие ЗОК. Защищаемые объекты.
2. ЗОК для защиты зданий и капитальных сооружений.
 - 2.1. Угрозы для зданий и капитальных сооружений, источниками которых являются БПЛА.
 - 2.2. Защита от БПЛА капитальных сооружений.
 - 2.3. Защита от БПЛА зданий.
3. ЗОК для защиты военных фортификационных сооружений.
 - 3.1. Угрозы для фортификационных сооружений, источниками которых являются БПЛА.
 - 3.2. Защита фортификационных сооружений от БПЛА.
4. ЗОК для защиты танков, бронетехники и транспортных средств.
 - 4.1. Угрозы для танков, бронетехники и транспортных средств, источниками которых являются БПЛА.
 - 4.2. Защита танков, бронетехники и транспортных средств от БПЛА.

1. Понятие ЗОК. Защищаемые объекты

Дополнив термины, представленные в своде правил [20], можно дать следующие определения.

Защитная ограждающая конструкция (ЗОК) – конструктивная система, позволяющая снизить воздействие опасных факторов при атаке БПЛА (таранный удар БПЛА, воздействие сбрасываемых взрывных устройств (ВУ), воздушной ударной волны, кумулятивной струи и осколков) на защищаемые объекты.

Защищаемый объект – имущество физических или юридических лиц, государственное или муниципальное имущество, а также здания, сооружения, транспортные средства, технологические установки, оборудование, агрегаты,

изделия, вооружение, военная и специальная техника (ВВСТ) и иное имущество.

В качестве защищаемых объектов, могут выступать:

1) военные объекты:

- здания и капитальные сооружения, включая объекты размещения командных пунктов (КП), места нахождения ВВСТ, места постоянной дислокации личного состава;
- протяженные объекты – дороги, системы фортификационных сооружений;
- отдельные инженерные или фортификационные сооружения и позиции на ЛБС;
- отдельные объекты ВВСТ, прежде всего – танки, бронетехника, транспортные средства;

2) гражданские объекты:

- объекты ТЭК;
- объекты хранения взрыво-, пожароопасных веществ, химических, ядовитых и иных отравляющих веществ;
- объекты энергетической инфраструктуры, прежде всего, электрические подстанции;
- здания органов государственной власти.

2. ЗОК для защиты зданий и капитальных сооружений

Вопросы защиты зданий и сооружений от БПЛА с помощью ЗОК рассматривались в работах [6, 14-20]. В настоящее время это направление защиты является наиболее проработанным как с теоретической, так и с эмпирической точки зрения. В дальнейшем именно эти наработки могут быть применены для обоснования ЗОК защиты военных фортификационных сооружений, бронетехники и транспортных средств.

2.1. Угрозы для зданий и капитальных сооружений, источниками которых являются БПЛА

В качестве основных угроз для зданий и капитальных сооружений, источниками которых могут быть БПЛА, рассматриваются [1, 8, 12]:

- 1) ведение разведки с помощью БПЛА с целью выявления уязвимостей и подготовки последующей атаки;
- 2) сброс ВУ с БПЛА;
- 3) атака БПЛА самолетного типа, начиненных взрывчатым веществом (ВВ);
- 4) распыление в системе вентиляции или внос в здание биологически или химически активных субстанций и других опасных веществ с использованием малых БПЛА.

При реализации угроз № 1, 2, 4 в качестве типового атакующего БПЛА можно рассматривать БПЛА-квадрокоптер DJI Mavic 3. Дальность полета – до 28 км. Длительность полета – до 45 мин. Высота полета – до 6000 м. Скорость –

до 60 км/ч. Грузоподъемность – до 0,7 кг. Наведение и управление – ручное управление оператором по командной радиолинии управления (КРУ) в пределах прямой радиовидимости на дальности 6-8 км. Условия применения – днем и ночью, в простых метеоусловиях при низкой ветровой нагрузке.

Дополнительно при реализации угроз № 2 и 3 в качестве типового атакующего БПЛА можно рассматривать сельскохозяйственные БПЛА-гексакоптеры и октокоптеры под общим наименованием «Баба-яга». Дальность полета – 6-10 км. Высота полета – до 400 м. Скорость – от 40 км/ч (при наличии полезной нагрузки) до 80 км/ч (в «холостом» режиме). Грузоподъемность – 7-20 кг. Наведение и управление – ручное управление оператором по командной радиолинии управления (КРУ) в УКВ диапазоне в пределах прямой радиовидимости на дальности 6-8 км, либо управление через спутниковые системы связи (ССС) типа Starlink. Условия применения – ввиду высокой заметности и низкой скорости применяется в основном ночью при низкой ветровой нагрузке.

Угроза № 3 в условиях продолжения СВО является основной для объектов ТЭК, объектов государственного и военного назначения, находящихся в глубоком тылу России. Анализ применения БПЛА ВСУ по российским объектам в тылу показывает, что атаки осуществляются преимущественно БПЛА следующих основных типов: UJ-22 Airbone, PD-2, «Лютый», «Бобер», «Рубака», «Сокол-300» и др. Эти БПЛА имеют конструкцию самолетного типа, дальность боевого применения 500-1100 км. Их эффективная площадь рассеивания (ЭПР) составляет 0,15-1 м², в зависимости от ракурса наблюдения. Размах крыльев от 2,5 до 6 м. Для снижения радиолокационной заметности в конструкции БПЛА широко используются пластиковые материалы, дерево и прессованный картон. Профиль полета – низкоскоростной относительно прямолинейный полет к цели на малых высотах с учетом рельефа местности с обходом потенциальных зон действия известных радиолокационных станций (РЛС) и зенитно-ракетных комплексов (ЗРК). Скорость полета БПЛА с роторно-поршневым двигателем (РПД) (доля таких БПЛА составляет порядка 90 %) составляет 90-170 км/ч. Полет многих таких БПЛА осуществляется на высоте 5-10 м над верхней кромкой лесных массивов и над руслами рек. Отдельные БПЛА, выполняющие полет в крейсерском режиме, двигались на высотах 200-400 м. На ближних подступах к объектам атаки (от 20 км и менее) высота их полета составляет от 30 до 150 м, что, в отдельных случаях, приводит к столкновению БПЛА с высотными городскими зданиями на уровне от 10 до 25 этажа. БПЛА самолетного типа с таким профилем полета обнаруживаются РЛС дециметрового (ДМВ) и сантиметрового (СМВ) диапазона электромагнитных волн (ЭМВ) на дальности прямой радиовидимости порядка 25-30 км. Если же БПЛА двигается на высоте менее 100 м, с использованием особенностей рельефа местности для повышения своей скрытности, дальность обнаружения РЛС составляет порядка 15-10 км.

Полезная нагрузка, в зависимости от типа БПЛА составляет 7-20 кг (БПЛА «Лютый» – до 75 кг). Как правило, в качестве полезной нагрузки выступает взрывчатое вещество (ВВ) и средства поражения, либо – аппаратура наблюдения и ретрансляции связи. Наведение и управление – преимущественно автономный полет по заранее заложенной программе движения по сигналам

спутниковой радионавигационной системы (СРНС), в том числе в режиме интегральной обработки сигналов нескольких СРНС (GPS, ГЛОНАСС, Beidou) и возможностью корректировки по данным систем сотовой связи. Отдельные БПЛА управлялись в ручном режиме через средства спутниковой связи, в частности, через ССС Starlink и Iridium [7].

2.2. Защита от БПЛА капитальных сооружений

Анализ современных подходов к созданию ЗОК для защиты объектов ТЭК от атак БПЛА ВСУ показывает, что большинство компаний¹ пошло путем создания сетчатых заграждений, которые, прежде всего, защищают верхнюю полусферу объекта от сброса ВУ с воздуха, в ряде случаев – дополнительно перекрывает возможные атаки БПЛА по периметру объекта (рис. 1).



а.



б.



в.



г.

Рис. 1. Примеры ЗОК для защиты объектов ТЭК

¹ Были проанализированы изделия ЗОК от компаний «Тент» (URL: tenet-zavod.ru), ГК «МеталЭнергоХолдинг» (URL: <https://metatorg.ru/shop/setka-metallicheskaya/setka-ot-dronov-i-bpla/zashchitnye-konstruktsii-dlya-npz-ot-dronov-i-bpla-po-chertezham>), «Завод РиНМ» (URL: https://rezervuar-met.ru/uslugi/razrabotka_antidronovyh_konstruktsiy), «Завод Габиионных конструкций» (<https://kogangabions.ru/produkcija/cetka-ot-bpla>), «ProCupol» (URL: https://prokupol.ru/catalog/passivnaya_zashchita_obektov/).

ЗОК для защиты зданий и капитальных сооружений устанавливается в виде одно- или многослойного сетевого заградительного полотна с минимальным количеством изгибов и поворотов. При этом должно учитываться размещение технических средств охраны (ТСО) для того, чтобы установленные ЗОК не препятствовали наблюдению ими охраняемого объекта.

Такие ЗОК должны обеспечивать:

- 1) соответствующую защиту от ударной нагрузки. К примеру, при скорости БПЛА 100 км/ч, весом 100 кг, ударная нагрузка составит примерно 39 кН;
- 2) механическое натяжение и компенсацию ударной и взрывной нагрузки;
- 3) стойкость к высоким температурам взрыва;
- 4) жесткое основание для заградительного полотна;
- 5) жесткую конфигурацию ячеек заградительного полотна;
- 6) минимальную конфигурацию ячейки заградительного полотна для снижения вероятности проникновения сбрасываемых взрывных устройств малых размеров;
- 7) дополнительный слой заградительного полотна в критических местах.

Конструктивно ЗОК зданий и капитальных сооружений состоит из (рис. 2):

- 1) заградительного полотна;
- 2) опорной конструкции;
- 3) механической системы натяжения и компенсации нагрузки;
- 4) фундамента.

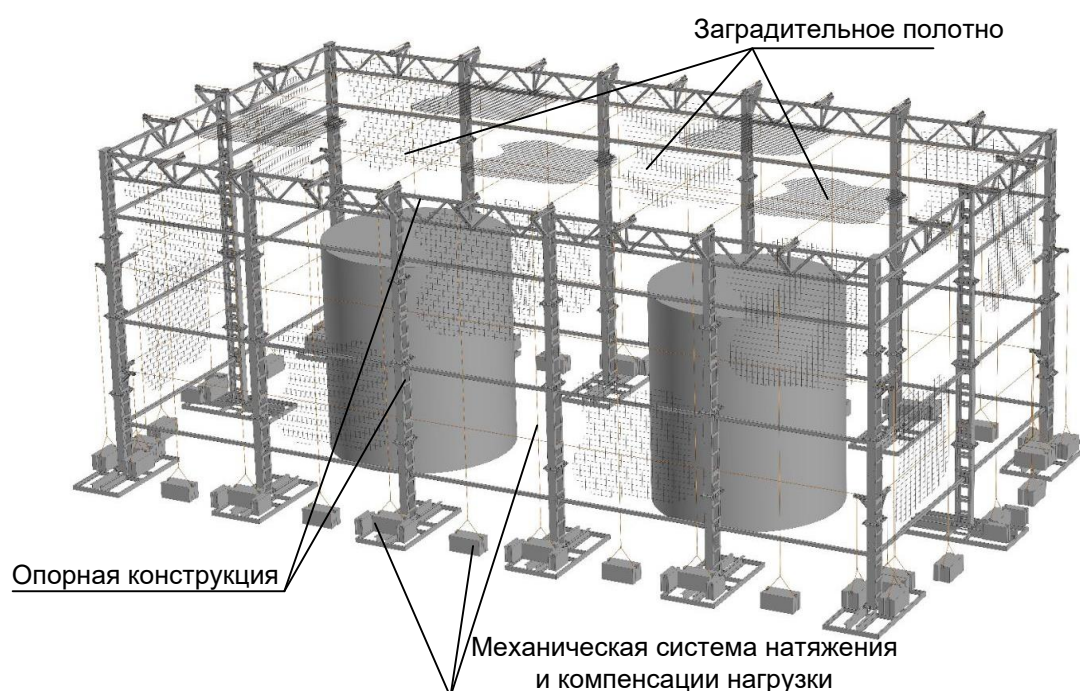


Рис. 2. Конструктивные элементы защиты капитального сооружения

Для объектов могут быть предусмотрены различные сочетания средств защиты в составе ЗОК в зависимости от требуемого уровня защиты – см. таблицу 1.

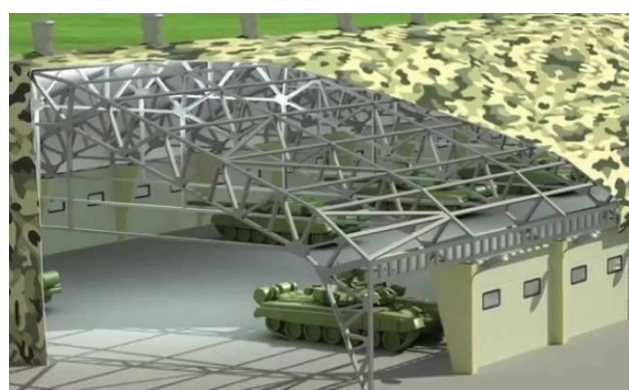
Таблица 1 – Варианты защиты объекта от БПЛА, в зависимости от уровня защиты объекта от БПЛА [20]

Элементы конструктивных решений ЗОК	Уровень защиты объекта от БПЛА			
	1-й уровень защиты	2-й уровень защиты	3-й уровень защиты	4-й уровень защиты
Заградительное полотно в виде защитной сетки	+	+	+	+
Дополнительные защитные сетки	+	+	+	—
Ограждения из стальных тросов	+	+	+	+
Опорные конструкции	+	+	+	+
Система натяжения и компенсации нагрузки (растяжки)	+	+	+	+
Тюфяки/маты	+	+	—	—
Противоосколочные стенки	+	—	—	—

ЗОК для защиты габаритных образцов ВВСТ в местах их постоянной дислокации, могут быть основаны на тех же принципах, что и ЗОК защиты капитальных объектов (рис. 3).



а.



б.

Рис. 3. Примеры ЗОК для защиты от БПЛА габаритных образцов ВВСТ

2.2.1. Заградительное полотно

Заградительное полотно располагается перед объектом защиты и представляет собой специальную сетчатую конструкцию с разрывной нагрузкой от 6 кН (600 кг) до 100 кН (10 000 кг). Расстояние от полотна до объекта определяется допустимой глубиной проникновения БПЛА внутрь объекта при соверше-

нии им тарана, а также возможностями системы натяжения и компенсации нагрузки.

Материалом заградительного полотна может быть:

- 1) металл. Имеет следующие преимущества: значительное сопротивление ударной взрывной нагрузке от ВВ, химическим и легковоспламеняющимся веществам. Недостатки: значительный вес, низкая разрывная нагрузка на сварных швах, снижение разрывной нагрузки до 20 % в условиях низких температур, возможное образование металлических осколков от воздействия взрывной волны;
- 2) синтетические материалы. Имеют следующие преимущества: легкость, большой срок службы, некрутящиеся, растяжение как у металла (не более 2 %). Недостатки: низкая температура плавления (130°C для сверхвысокомолекулярного полиэтилена, $200\text{--}300^{\circ}\text{C}$ для полиамида, 450°C для кевлара или арамида), гигроскопичность (увеличивается вес в осенне-зимний период), снижение разрывной нагрузки до 50 % при узловом плетении сетки.

Основные типы заградительных полотен, применяемых на практике [13, 16]:

1) сетка «рабица» (рис. 4а) – сетчатая конструкция, которая формируется только из вертикальных изогнутых проволок, в соответствии со стандартом ТУ 14-178-287-2003 или его аналогом. Размер ячейки $5\times 5\text{ см}$. Разрывная нагрузка проволоки в диапазоне $290\text{--}540\text{ Н/мм}^2$. Разрывная нагрузка сетчатого полотна – от 8 кН (800 кг) и более. Вес 1 м^2 полотна – 1,3 кг (при диаметре прутка 2 мм). Наиболее часто используемый тип заградительного полотна. Однако, при создании защиты верхней полусферы характерен значительный провис при большой площади покрытия, в связи с чем необходим жесткий металлический каркас для натяжения полотна с использованием сварки;



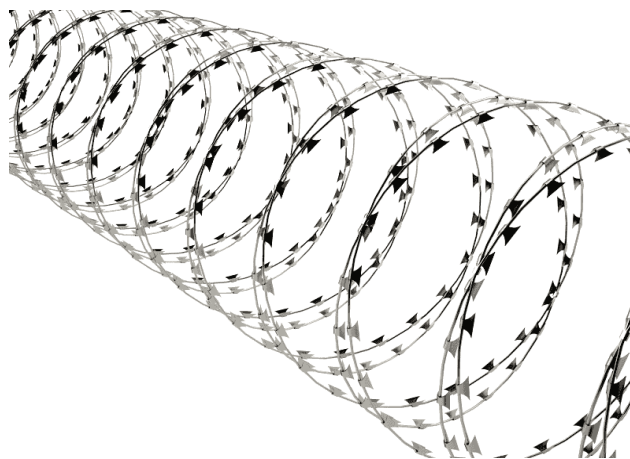
а.



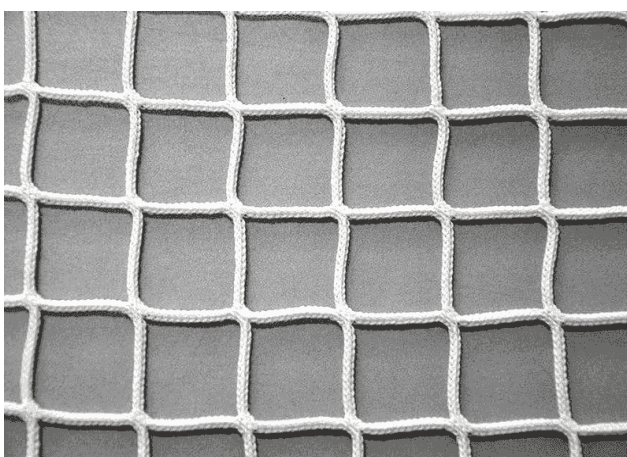
б.



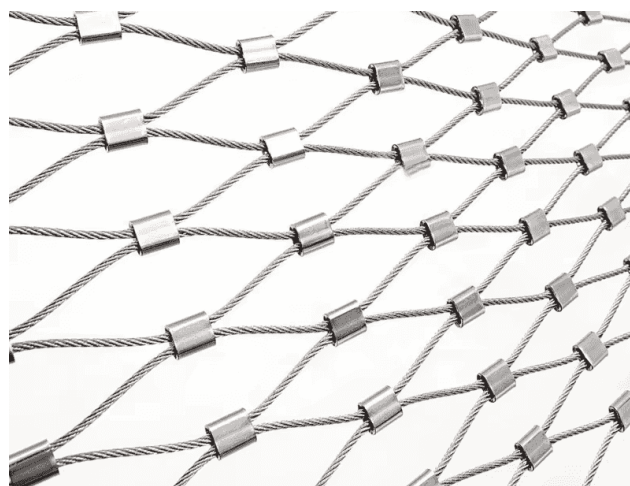
В.



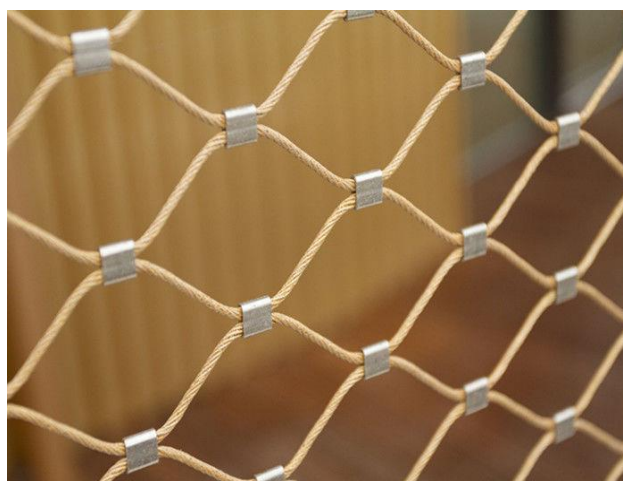
Г.



Д.



Е.



Ж.

Рис. 4. Основные типы заградительных полотен

2) сеть высокопрочная по ГОСТ Р 58118-2018 – сетчатая конструкция с четырехугольными ячейками, которая формируется кручеными проволоками из высококачественной стали с антикоррозионной защитой с использованием цинкового и цинко-алюминиевого покрытия. Диаметр прутка – от 4,6 мм и вы-

ше. Размер ячейки от 6×6 см. Разрывная нагрузка проволоки – от 600 Н/мм и выше;

3) проволочная сеть Манье (рис. 4б) – сетчатая конструкция с шестиугольными ячейками, которая формируется крученными проволоками, в соответствии со стандартом ГОСТ Р 51285-99. Размер ячейки от 6×8 см до 8×10 см. Диаметр проволоки – от 2,4 до 2,7 мм. Разрывная нагрузка проволоки находится в диапазоне 475-575 Н/мм². Наибольшее распространение получила в качестве основы габионных конструкций. Вес 1 м² полотна – от 1,6 кг;

4) сварная сетка (рис. 4в) – сварка вертикальных и горизонтальных проволок снижает разрывную нагрузку: при таранной до 70 %, при активной – до 90 % (полностью потеря ячейки). Разрывная нагрузка в местах сварки, в зависимости от диаметра прутка – до 8 кН (800 кг) при статической нагрузке, а при ударной – ниже до 50 %. Вес 1 м² полотна – от 2,46 кг;

5) барьеры (рис. 4г) – изготавливаются из оцинкованной ленты с шипами, в которую обернута высокоуглеродистая оцинкованная стальная проволока. Витки спирали соединяются между собой путем склепывания специальными скобами из оцинкованной стали толщиной 1,2 мм. Такие барьеры особенно небезопасны т. к. при воздействии активных видов нагрузки, особенно ВУ/ВВ БПЛА, из них дополнительно образуются поражающие элементы с режущими шипами. Разрывная нагрузка в местах соединения витков спирали не более 2 кН;

6) полотно из синтетической полиамидной нити (рис. 4д) – сетчатая узловая или безузловая конструкция. Температура плавления – до 300° С. Разрывная нагрузка – до 10 кН, в узлах – до 5 кН. Недостаток – невозможность создать равномерное натяжение полотна на всей площади поверхности;

7) полотно из металлических нитей специальной конструкции (рис. 4е) – сетчатая конструкция, формируемая из вертикальных прямых металлических тросов (нержавеющая или оцинкованная, стальная). Разрывная нагрузка – 12 кН (от 1200 кг) и более. Вес 1 м² полотна – 1,87 кг;

8) полотно из синтетических нитей со специальной пропиткой (рис. 4ж) – сетчатая конструкция, формируемая из множества вертикальных синтетических микронитей. При использовании арамидных нитей температура плавления – до 500° С, фибerglassовых – до 800° С. Практически полное отсутствие гироскопичности, что особенно ценно при работе в условиях низких температур и полном погружении в воду. Специальная пропитка обеспечивает высокую стойкость к истиранию, УФ-излучению, щелочам, кислотам и маслам. Разрывная нагрузка – 12 кН и более. Вес 1 м² полотна – 1,4 кг;

9) полотно из комбинированных (металлических и синтетических со специальной пропиткой) нитей – формируется из множества вертикальных синтетических микронитей с вплетением в них металлических нитей. Комбинированная конструкция нитей исключает проблемы с низкой температурой плавления, характерных для синтетических нитей. Разрывная нагрузка – 12 кН и более. Вес 1 м² полотна – 1,55 кг.

В работе [16] было проведено эмпирическое исследование некоторых из вышеуказанных защитных полотен на устойчивость к ударным нагрузкам. Результаты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты эмпирического исследования некоторых типов защитных полотен на устойчивости к ударным нагрузкам, имитирующим удар БПЛА или сброс с него груза [16]

Тип защитного полотна	Имитатор ударной нагрузки	Фиксируемый эффект	Примечание
Сеть «рабица» оцинкованная	Сброс груза 175 кг с высоты 2,9 м	Разрыва сетевого полотна нет. Глубина его провиса – 104 см. Разрушения креплений сети к опорной конструкции нет. Разрывов тросов опорной конструкции нет	Рекомендовать использовать сетку для защиты объектов, подвергающихся воздействию БПЛА и сбросов с них с ударной энергией не более 4,99 кДж
Сеть «рабица» стальная	Сброс груза 175 кг с высоты 4,9 м	Разрыва сетевого полотна нет. Глубина его провиса – 63 см. Разрушения креплений сети к опорной конструкции нет. Разрывов тросов опорной конструкции нет	Рекомендовать использовать применение данной сетки для защиты объектов, подвергающихся воздействию БПЛА и сбросов с них с ударной энергией не более 19,96 кДж
Сеть «рабица» стальная и оцинкованная	Сброс груза 175 кг с высоты 11,7 м	Разрыв сетевого полотна. Разрушения креплений сети к опорной конструкции нет. Разрывов тросов опорной конструкции нет	Рекомендовать использовать применение данной сетки для защиты объектов, подвергающихся воздействию БПЛА и сбросов с них с ударной энергией не более 19,96 кДж
Проволочная сеть Манье с прутом 2,4 мм	Сброс груза 175 кг с высоты 11,7 м	Разрыв сетевого полотна. Провис сети – 118 см. Обрыв креплений сети к опорной конструкции. Разрывов тросов опорной конструкции нет	Рекомендовать использовать применение данной сетки для защиты объектов, подвергающихся воздействию БПЛА и сбросов с них с ударной энергией не более 19,96 кДж
Проволочная сеть Манье с прутом 2,4 мм	Сброс груза 250 кг с высоты 19,7 м	Разрыв сетевого полотна. Разрушения креплений сети к опорной конструкции нет. Разрывов тросов опорной конструкции нет	Рекомендовать использовать применение данной сетки для защиты объектов, подвергающихся воздействию БПЛА и сбросов с них с ударной энергией не более 19,96 кДж
Проволочная сеть Манье с прутом 2,7 мм	Сброс груза 175 кг с высоты 11,7 м	Разрыва сетевого полотна нет. Провис сети – 27 см. Обрыв креплений сети к опорной конструкции. Разрывов тросов опорной конструкции нет	Рекомендовать использовать применение данной сетки для защиты объектов, подвергающихся воздействию БПЛА и сбросов с них с ударной энергией не более 19,96 кДж

Тип защитного полотна	Имитатор ударной нагрузки	Фиксируемый эффект	Примечание
Сеть высокопрочная по ГОСТ Р 58118-2018	Сброс груза 250 кг с высоты 19,6 м	Разрыва сетевого полотна нет. Провис сети – от 20 до 60 см. Обрыв креплений сети к опорной конструкции. Разрывов тросов опорной конструкции нет	Рекомендовать использовать применение данной сетки для защиты объектов, подвергающихся воздействию БПЛА и сбросов с них с ударной энергией не более 47,9 кДж

Примечание: исследование проводилось на стенде с опорной конструкцией в виде тросов на стойках с шагом: 2,9×2,9 м; 5,8×5,8 м и 2,9×5,8 м. Высота стоек 2 м.

Защиту объектов от поражения осколками ВУ при их подрыве на заградительном полотне следует осуществлять путем применения дополнительных противоосколочных средств. Для расчета воздействия контактного взрыва на ЗОК следует руководствоваться СП 88.13330. Защита важных агрегатов объекта от осколочного воздействия ВУ/ВВ БПЛА может быть обеспечена за счет установки по периметру и покрытию защитных конструкций из сборных каменных или бетонных блоков, с прочностью на сжатие не менее 100 кгс/см², а также различного вида оболочек с противоосколочным наполнителем (например, тюфяков или матов, заполненных песком или глиной, габионов расчетной толщины и др.) [20].

В качестве защиты людей, находящихся внутри зданий и сооружений, от осколков оконных стекол следует использовать взрывостойкое стекло, соответствующее ГОСТ 30826, или противоосколочные шторы, располагаемые с внутренней стороны светопрозрачных конструкций [20].

Защитные противоосколочные конструкции снаружи зданий и сооружений должны устанавливаться с таким расчетом, чтобы расстояние между отдельными агрегатами и защитными конструкциями могло обеспечивать беспрепятственное их обслуживание и при необходимости проведение ремонтных работ. При этом каменные и бетонные блоки монтируются на цементно-песчаном растворе марки не ниже М75 [20].

Входы в здания допускается защищать с помощью защитных экранов, устанавливаемых на расстоянии не более чем 3 м от здания, с высотой и шириной на 1-2 м превышающими высоту и ширину двери [20].

2.2.2. Опорные конструкции

Опорные конструкции, как правило, изготавливаются из металла и устанавливаются перед защищаемым сооружением в бетонные фундаменты. При необходимости опоры покрываются специальным антикоррозионно-диэлектрическим покрытием. Требования к материалам металлических опорных конструкций предъявляются в соответствии со следующими документами по стандартизации (для условий действия сочетаний нагрузок основного эксплуатационного периода и особых нагрузок): СП 16.13330, ГОСТ 23118,

СП 28.13330, СП 72.13330, ГОСТ 9.402, ГОСТ 9.032 [20]. В качестве опорных конструкций допускается применять конструкции на основе строительных лесов, железобетонных конструкций и других пространственных опорных конструкций при подтверждении их несущей способности, а также соответствии функциональным и эксплуатационным требованиям к ЗОК. Опорные конструкции могут быть двух видов [20]:

- 1) независимая опорная конструкция – нагрузки, воспринимаемые защитным полотном, передаются на собственный несущий каркас и фундаменты, минуя защищаемый объект (рис. 5а);
- 2) зависимая опорная конструкция – конструктивно связана с защищаемым объектом. При этом нагрузки, воспринимаемые защитным полотном, передаются на несущий каркас и фундаменты защищаемого объекта (рис. 5б).

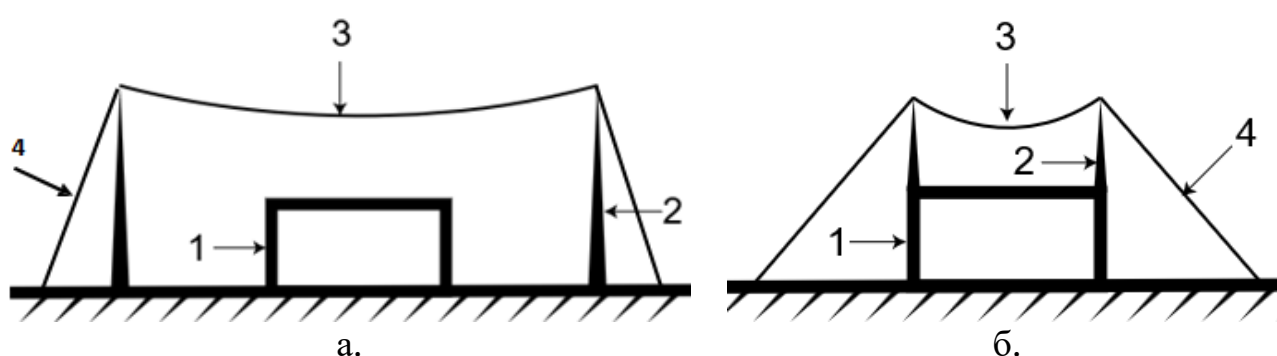


Рис. 5. Основные типы опорных конструкций: 1 – защищаемый объект; 2 – опорная конструкция; 3 – заградительное полотно; 4 – система натяжения и компенсации нагрузки [20]

2.2.3. Система натяжения и компенсации нагрузки

На опорные конструкции натягиваются и закрепляется система натяжения и компенсации нагрузки от заградительного полотна, которое растягивается и закрепляется специальным противоразрывными креплениями на системе натяжения. Для уменьшения динамической составляющей нагрузки в составе системы натяжения и компенсации нагрузки следует использовать энергопоглощающие устройства (тормоза, демпферы) с рассчитанной или определенной заводом-изготовителем зависимостью «сила – перемещение». Классификация компенсируемых нагрузок принимается в соответствии с документом СП 20.13330.2016. Нагрузки, принимаемые в расчет при проектировании системы [20]:

- постоянные нагрузки в виде собственного веса система натяжения, заградительного полотна и опорных конструкций ЗОК;
- монтажные нагрузки;
- кратковременные климатические нагрузки (снеговые, гололедные и ветровые);
- особые климатические нагрузки (экстремальные гололедные);

- особые нагрузки от падения БПЛА, воздействия ВУ/ВВ, размещенных на БПЛА или сбрасываемых ими.

Сочетание нагрузок определяют в соответствии с СП 20.13330.2016 (раздел 6).

Снеговые, гололедные нагрузки на систему и их сочетания с ветровыми нагрузками определяют в соответствии с СП 20.13330.2016 (раздел 12). Гололедные нагрузки для УСК, защитных тросов и растяжек следует определять по методике, приведенной в [21] (п. 12.1).

Ветровые нагрузки определяют в соответствии с СП 20.13330.2016 (подраздел 11.1). Ветровые нагрузки для защитного полотна и опорных конструкций ЗОК следует определять по методике, приведенной в [21] (п. 12.2).

Особые климатические нагрузки (экстремальные гололедные нагрузки) определяют в соответствии с СП 296.1325800.2017 (подраздел 6.7), а их сочетания – в соответствии с СП 20.13330.2016 (разделы 6 и 12). Экстремальные гололедные нагрузки следует определять по методике, приведенной в [21] (подраздел 12.3).

Ветровые нагрузки в особом сочетании следует вычислять с учетом экстремальной толщины стенки гололеда [20].

Особые нагрузки от падения БПЛА, воздействия ВУ/ВВ, размещенных на БПЛА или сбрасываемых ими необходимо вычислять с учетом расстояния от защищаемого объекта до заградительного полотна, а также с учетом воздействия на опорные конструкции ЗОК. Динамические нагрузки от воздействия ВУ/ВВ должны учитывать следующие параметры [20]:

- избыточное давление и импульс давления в положительной фазе воздушной ударной волны от ВУ/ВВ;
- избыточное давление и импульс давления в отрицательной фазе воздушной ударной волны от ВУ/ВВ;
- избыточное давление и импульс давления в положительной фазе воздушной ударной волны от ВУ/ВВ с учетом ее отражения от заградительного полотна, конструкции здания, строения или сооружения;
- избыточное давление и импульс давления в отрицательной фазе воздушной ударной волны от ВУ/ВВ с учетом ее отражения от заградительного полотна, конструкции здания, строения или сооружения.

Динамические нагрузки от воздушной ударной волны ВУ/ВВ на заградительное полотно, конструкцию зданий, строений, сооружений и конструкции ЗОК рассчитывают в соответствии с методикой, приведенной в [21], раздел 7.

При расчетах последствий динамического воздействия на строительные конструкции защищаемых зданий, строений или сооружений динамическая нагрузка заменяется эквивалентной ей по действию статической нагрузкой, которая определяется в соответствии с документом [20]. Для расчета параметров нагрузок от воздушной ударной волны ВУ/ВВ допускается возможность использования методов вычислительной гидродинамики для учета отражения и дифракции волн давления на преградах [20].

В работе [15] проведено довольно подробное исследование влияния воздушной ударной волны ВУ/ВВ на заградительное полотно ЗОК с зарядами различного эквивалента тринитротолуола (ТНТ). Показано что для объектов, которые могут подвергаться атакам БПЛА, способных нести ВУ/ВВ с эквивалентом до 2 кг ТНТ, расстояние от заградительного полотна до защищаемого объекта должно быть не менее чем 4 м. При ВУ/ВВ с эквивалентом до 10 кг ТНТ, это расстояние должно быть не менее чем 8 м, а для ВУ/ВВ с эквивалентом до 50 кг ТНТ – 16 м.

В работе [16] проведено исследование энергии удара ВУ с различной массой, сбрасываемых с БПЛА без учета влияния воздушной ударной волны ВУ/ВВ. результаты представлены в таблице 2.

При расчетах параметров движения осколков ВУ/ВВ исходят из аэродинамических свойств предметов и из газодинамических характеристик воздушного потока, создаваемого взрывом. Методика расчета нагрузок от осколочных воздействий и глубины проникновения осколка в преграду приведена в [21], раздел 9.

Нагрузки на заградительное полотно от падения БПЛА должны учитывать массу и скорость БПЛА, определяемые в соответствии с [21], таблица 5.1. Расчет улавливающих свойств на нагрузки при падении БПЛА выполняют в соответствии с [21], раздел 10. При этом расчет этих свойств рекомендуется проверить путем испытаний в соответствии с [20] п. 10.7.1.

2.2.4. Фундамент

Фундамент – конструкция, передающая нагрузки от опорных конструкций на грунтовое основание, проектируемая в соответствии со сводами правил СП 22.13330, СП 24.13330 и СП 25.13330. Требования к материалам фундаментов ЗОК предъявляются в соответствии со следующими документами по стандартизации: СП 63.13330, ГОСТ 26633, ГОСТ 8267, ГОСТ 31384 [20].

2.3. Некоторые особенности защиты от БПЛА зданий

Для защиты уже стоящих зданий, могут применяться вышеуказанные подходы. Однако, в работе [6] отмечается, что создание внешней защитной оболочки для вновь проектируемого здания может оказаться избыточной мерой. С учетом современных угроз от БПЛА при проектировании новых зданий следует сосредоточиться на минимизации ущерба от разрушения отдельных частей конструкций, особенно стеклянных и фасадных систем, которые при взрыве разрушаются с образованием острых осколков. Остекленные поверхности, если они присутствуют, можно располагать за защитными сетками, ламелями и другими элементами, которые способствуют отдалению места взрыва и рассеиванию взрывной волны. При формировании защиты зданий должны быть минимизированы последствия применения ВВ. Последствия взрыва могут быть различными, как и меры противодействия: можно ограничиться использованием взрывозащищенных покрытий при строительстве объекта или применять конструкции, учитывающие подобный риск. В случае реконструкции суще-

ствующих зданий можно использовать элементы, поглощающие или рассеивающие взрывную ударную волну или ударную энергию от БПЛА.

Примером защиты периметра от несанкционированного воздействия со стороны БПЛА является исследовательский центр «Техноверсум» в г. Ретлингене (Германия) – рис. 6 [6].

Таким образом, при защите зданий, в соответствии с работой [6] помимо вышеуказанных подходов формирования ЗОК капитальных сооружений, можно применять следующие способы защиты:

- использование оболочковой конструктивной системы, где внешний контур, который может подвергнуться атаке БПЛА, не связан конструктивно с внутренними несущими элементами здания (рис. 7а);
- установка декоративно-защитных сетей и специально спроектированных конструкций, усложняющих доступ к зданию по воздуху (рис. 7б);
- использование многослойных фасадов и фальш-фасадов (рис. 7в);
- использование заглубленных окон, окон маленького размера (не ленточных), с частым делением на импосты (рис. 7г);
- создание взрывобезопасных зон внутри зданий без проемов в наружных стенах, на первых этажах зданий, в подвалах или на верхних этажах, с возможностью быстрой эвакуации в них.



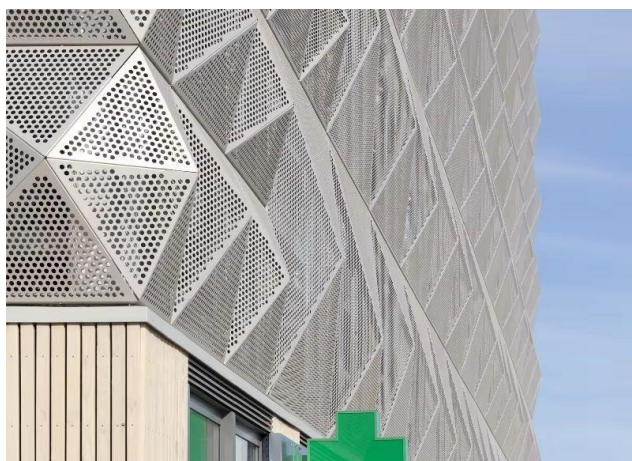
Рис. 6. Исследовательский центр «Техноверсум»
в г. Ретлингене (Германия) [6]



а.



б.



в.



г.

Рис. 7. Варианты архитектурных решений для зданий,
с повышенной защитой от БПЛА

3. ЗОК для защиты военных фортификационных сооружений

3.1. Угрозы для фортификационных сооружений, источниками которых являются БПЛА

В качестве основных угроз для военных фортификационных сооружений в условиях ведения боевых действий (БД), источниками которых могут быть БПЛА, рассматриваются:

- 1) ведение разведки;
- 2) атака расположения фортификационных сооружений на ЛБС со скоплениями живой силы, позициями и местами дислокации ВВСТ, складов боеприпасов;
- 3) сброс ВУ с БПЛА.

При реализации угроз № 1, 2 в качестве типового атакующего БПЛА можно рассматривать БПЛА-квадрокоптеры DJI Mavic 3 (-2, -30T). Дальность полета – до 28 км. Длительность полета – до 45 мин. Высота полета – до 6000 м. Скорость – до 60 км/ч. Грузоподъемность – до 0,7 кг. Наведение и управление – ручное управление оператором по командной радиолинии управления (КРУ) в

УКВ диапазоне в пределах прямой радиовидимости на дальности 6-8 км. Условия применения – днем и ночью, в простых метеоусловиях при низкой ветровой нагрузке.

Дополнительно при реализации угрозы № 2 широко применяются FPV-БПЛА, управляемые по КРУ в режиме «вида от первого лица». В качестве типовых разведывательно-ударных FPV-БПЛА, применяемых ВСУ на ЛБС можно рассматривать: DJI FPV, Eachine Wizard X220S, «Паміра» (Rammstein), Marik, TBS Vendetta, iFlight Titan DC5 HD, UkrSpecSystems FPV, Athlon Avia FPV. Дальность полета FPV-БПЛА – до 10-18 км. Длительность полета – до 7-20 мин. Высота полета – до 500 м. Скорость – 120-160 км/ч. Грузоподъемность – 0,5-2 кг. Наведение и управление – ручное управление оператором по КРУ в УКВ диапазоне в пределах прямой радиовидимости на дальности 1-7 км. Условия применения – днем и ночью, в простых метеоусловиях при низкой ветровой нагрузке.



Рис. 8. Вид от оператора FPV-БПЛА при атаке техники и живой силы

Вышеуказанные БПЛА могут нести гранаты РГД-5 (вес 0,3 кг), 30-мм выстрелы ВОГ-17 (вес 0,3 кг), а также другие ВУ, специально адаптированные к использованию на БПЛА с массой 0,5-2 кг. РГД-5 и ВОГ-17 с высокой вероятностью могут поражать открыто расположенную живую силу в радиусе до 5 м. Сбросы таких боеприпасов осуществляются с высоты порядка 100 м, неопытными операторами – с высоты 50 м. FPV-БПЛА, снаряженные ВУ, могут влетать в открытые проемы зданий, блиндажей и ячеек, поражая находящихся там военнослужащих.



Рис. 9. FPV-БПЛА с кумулятивной боевой частью от РПГ-7



Рис. 10. Крупный БПЛА типа «Баба-яга», наблюдаемый через тепловизор

При реализации угрозы № 3 в качестве типового атакующего БПЛА можно рассматривать крупные сельскохозяйственные БПЛА-гексакоптеры и октокоптеры, известные под обобщенным сленговым наименованием «Баба-яга». Дальность полета – 6-10 км. Высота полета – до 400 м. Скорость – от 40 км/ч (при наличии полезной нагрузки) до 80 км/ч (в «холостом» режиме). Грузоподъемность – 7-20 кг. Наведение и управление – ручное управление оператором по командной радиолнии управления (КРУ) в УКВ диапазоне в пределах прямой радиовидимости на дальности 6-8 км, либо управление через спутниковые системы связи (ССС) типа Iridium или Starlink. Условия применения – ввиду высокой заметности и низкой скорости применяются в основном ночью при низкой ветровой нагрузке. Такие БПЛА снаряжались американскими одноразовыми реактивными противотанковыми гранатами M72 (вес 2,5-3 кг), а также подвешивались 82-мм (вес 3,3 кг) и даже 120-мм миномётные мины (вес 16 кг). БПЛА с такой нагрузкой способны эффективно поражать живую силу в окопах и на открытой местности, а также разрушать лёгкие фортификационные укрепления и поражать бронетехнику. Так 66-мм кумулятивная граната M72 может пробить 350-мм гомогенную броню. А 82-мм мина снаряжена 400 г тротила и способна эффективно поражать ростовые цели в радиусе 30 м. Особенно опасны 120-мм осколочно-фугасные мины, снаряжённые 3,9 кг тротила. При разрыве такой мины радиус поражения осколками не укрытой живой силы достигает 60 м. 120-мм мина с взрывателем, поставленным на срабатывание с замедлением, в рыхлом грунте создаёт воронку диаметром в 3 м и глубиной около 1 м. Такая мина эффективно разрушает окопы и легкие блиндажи, а при прямом попадании способна вывести из строя танк.

3.2. Защита фортификационных сооружений от БПЛА

Анализ вариантов ЗОК для защиты военных фортификационных сооружений проведен в соответствии с работами [8, 12], обобщающими опыт СВО в период 2022-2024 гг.

Основными демаскирующими признаками фортификационных сооружений, провоцирующими атаки БПЛА, являются следующие.

1. В видимом оптическом диапазоне:

- наличие движения; наблюдаемое перемещение личного состава, бронетехники и транспортных средств;
- наличие пылевой дымки, свежих следов колес/гусениц, указывающих на перемещение техники или строительство сооружений;
- наблюдение выступающих частей оружия, бронетехники и транспортных средств в сооружениях;
- отличие сооружений от окружающей местности (изменение рельефа местности, наличие свежей земли, несоответствие маскировочного покрытия фону);
- изменение (увеличение) мусора и следов жизнедеятельности со временем.

2. В ИК-диапазоне:

- наблюдение (особенно в ночное время) тепловых сигнатур живой силы, нагревательных приборов и выхлопных газов в местах скопления личного состава, работающих двигателей бронетехники и транспортных средств;
- нагрев металлических частей сооружений, бронетехники и транспортных средств днем на солнце, относительно природного фона.

3. Акустические признаки:

- звуки стрельбы;
- разговоры личного состава;
- звуки работы двигателей бронетехники, транспортных средств или других механизмов.

4. Радиоэлектронные признаки:

- скопление или активное перемещение абонентов мобильной связи;
- наличие средств военной радиосвязи, работающих на излучение;
- наличие на позиции контрбатерейных РЛС или РЛС обнаружения БПЛА.

Основные средства защиты фортификационных сооружений от БПЛА:

- использование формы фортификационных сооружений, препятствующий залету в них БПЛА и поражению личного состава в них;
- использование металлических листов и экранов, перекрывающих верхнюю часть фортификационных сооружений;
- использование металлических сетей, прежде всего, сетки-рабицы;
- использование маскировочных сетей;
- использование рыболовных, волейбольных и орнитологических сетей.

Для защиты от ВУ, сбрасываемых с БПЛА непосредственно перед входом, подбрустверные ниши должны иметь не обычную прямоугольную форму, а Г-образную или молнеобразную форму. Короткое перекрытие сверху участка окопа, в который выходит подбрустверная ниша, желательно, но недостаточно для укрытия личного состава. ВУ могут быть весьма точно сброшены с БПЛА, под самый срез перекрытия, поражая при этом личный состав в простой прямоугольной подбрустверной нише. Кроме того, FPV-БПЛА-камикадзе могут зале-

тать под перекрытие. Пулемёты и гранатомёты следует убирать в подбрустверные ниши, за исключением времени ведения огня из них, т. к. они являются демаскирующим признаком позиции при ведении разведки с БПЛА.

Для противодействия угрозе ВУ, сбрасываемых с БПЛА, используются полностью перекрытые выносные стрелковые ячейки, причём перекрывается не только позиция, где находится солдат, но и участок окопа, к которому примыкает ячейка. При этом ВУ, сброшенное с БПЛА и попавшее рядом со входом в перекрытое пространство, не поразит бойца, т. к. он находится за углом, в самой ячейке.

Длину окопов, рассчитанных на отделение и выше, желательно перекрывать сверху примерно наполовину. На практике встречаются случаи сплошного перекрытия окопов с оставлением амбразур для ведения огня (в примкнутых или выносных ячейках, соединенных с окопами ДЗОТ/ДОТ). Следует понимать, что полное перекрытие окопа создаёт большие сложности с ведением оборонительного боя против атакующей пехоты. Учитывая фактически полный отказ от фронтальных атак пехотой обеими воюющими сторонами, заранее подготовленные амбразуры зачастую «смотрят» не в нужную сторону. Разрывы снарядов во время артиллерийской подготовки обваливает часть перекрытий, что может помешать перемещению личного состава внутри окопа. Сохранение возможностей для маневренного противопехотного боя с использованием окопов также важно, как и защита от БПЛА. Поэтому необходимо использовать компромиссное решение – перекрывать окопы наполовину. Кроме того, сплошное перекрытие окопов создаёт условия для сохранения повышенной температуры в окопе, что приводит к снижению разведзащищенности по тепловым сигнатурам, считываемым ИК-датчиками БПЛА.

В отсутствие материалов для жёстких перекрытий окопов рекомендуется использовать материалы типа сетки-рабицы или обычные маскировочные сети. Сетка-рабица нередко подвешивается под углом (с перекосом), чтобы ВУ, сброшенные с БПЛА, скатывались с неё. Использование сетки-рабицы имеет тот недостаток, что при подрыве FPV-БПЛА осколки этой сетки при взрыве становятся дополнительными поражающими элементами. При использовании рыболовных сетей этой проблемы нет. БПЛА часто просто запутывается в таких сетях, без взрыва. Однако рыболовная сеть может загореться. Также сеть далеко не всегда способна выдержать последовательные удары БПЛА. В целом, сети затрудняют противнику обнаружение целей с БПЛА и несколько снижают эффективность сбрасываемого ВУ, подрыв которого происходит над головами солдат, а не на грунте. В некоторых случаях сбрасываемые боеприпасы могут отскакивать от сети, а FPV-БПЛА могут застревать в сетях. В качестве подручных материалов иногда используются рыболовные, волейбольные и орнитологические сети. Против тяжёлых ВУ, сбрасываемых с крупных сельскохозяйственных БПЛА типа «Баба-яга» (мины, выстрелы РПГ), и от прямого попадания FPV-БПЛА, летящих на высокой скорости, такие сети могут не защитить. Однако сеть из тонкой лески может воспрепятствовать FPV-БПЛА залететь на малой скорости прямо в блиндаж или огневую ячейку.



Рис. 11. Защита позиций маскировочными сетями и сеткой-рабицей



Рис. 12. FPV-БПЛА, застрявший в маскировочной сети



а. б.

Рис. 13. Защита позиций волейбольными и рыболовными сетями

При отсутствии перекрытий и сетей для противодействия сбрасываемым ВУ с БПЛА рекомендуется использовать перекрытие окопов сверху ветвями деревьев. Это решает две задачи – повышение эффективности маскировки от БПЛА-разведчиков, а также защита от сбрасываемых ВУ. Однако ветви деревьев требуют постоянного обновления, иначе они утратят свою маскировочную функцию из-за засыхания листвы.

БПЛА типа «Баба-яга» могут переносить ВУ высокой мощности (миномётные мины, противотанковые мины, выстрелы РПГ), которые и применяться против фортификационных сооружений. При обустройстве блиндажей для проживания личного состава следует учитывать такой демаскирующий признак, как тепловая сигнатура, которую создаёт прогретый грунт над блиндажом. Для повышения скрытности блиндажей (укрытий) при устройстве перекрытий необходимо использовать полотна из теплоизолирующих материалов. При этом нежелательно использование для обогрева печек-буржеек. Следует использовать бытовые газовые отопительные приборы, организовав выход газоотводной трубы на значительном отдалении от блиндажа.

Амбразуры следует перекрывать металлическими сетками с небольшими отверстиями под ствол пулемёта (автомата, гранатомета и пр.) с целью недопущения влёта FPV-БПЛА внутрь амбразуры. Для этого входы амбразуры завешиваются антимоскитными сетками с отягощениями.

При остановках в наступлении позиции должны оборудоваться не только исходя из тактической целесообразности, но и с учетом возможности укрытия личного состава от ударов БПЛА – в подвалах или в аналогичных укрытиях. Когда FPV-БПЛА влетает в коридор здания, в комнату или в полевой туннель, по мере полета внутрь, он быстро «теряет» сигнал. Поэтому такие БПЛА эффективны только на небольшой глубине внутри здания.

В лесополосах и лесных массивах целесообразно устраивать зоны, плотно закрытые антидроновыми сетками. Закрыть сетями большинство позиций не получится, т.к. сетей может потребоваться слишком много. Однако отдельные

зоны (части позиций) закрыть можно. Они могут служить убежищем, куда личный состав может эвакуироваться при атаке ударных БПЛА.



Рис. 14. Пример перекрытия сетями дороги на ее критическом участке

Как показал анализ опыта СВО, хорошо себя зарекомендовало оборудование ложных позиций – «приманок». Как правило, это пустые блиндажи с тепловой сигнатурой, специально сформированной за счет использования костров или газовых горелок. На такие «приманки» часто наводятся БПЛА типа «Баба-Яга», при этом в момент атаки они сами становятся атакуемым объектом.

Помимо позиций, целесообразно перекрывать сетями дороги снабжения подразделений на ЛБС. Конечно, все дороги перекрыть так невозможно, но некоторые участки, например, перед пунктами выгрузки раненых, загрузки припасов, боекомплекта, перекрыть вполне реально. Также целесообразно перекрывать участки дорог, на которых движущейся технике приходится снижать скорость или останавливаться – это самый опасный момент в плане вероятной атаки FPV-БПЛА. К таким участкам относятся резкие повороты, переправы, участки местности со сложным рельефом.

4. ЗОК для защиты танков, бронетехники и транспортных средств

4.1. Угрозы для танков, бронетехники и транспортных средств, источниками которых являются БПЛА

В качестве основных угроз для танков, бронетехники, транспортных средств в условиях ведения БД, источниками которых могут быть БПЛА, рассматриваются:

- 1) ведение разведки;
- 2) атака техники (танков, бронетехники, транспортных средств) на стационарных позициях или в движении;
- 3) сброс ВУ с БПЛА на технику, находящуюся в стационарном положении.

При реализации угроз № 1, 2 в качестве типового атакующего БПЛА можно рассматривать БПЛА-квадрокоптеры DJI Mavic 3 (-2, -30T). Дополнительно при реализации угрозы № 2 широко применяются FPV-БПЛА, управляемые по КРУ в режиме «вида от первого лица». При реализации угрозы № 3 в качестве типового атакующего БПЛА можно рассматривать крупные сельскохозяйственные БПЛА-гексакоптеры и октокоптеры под общим сленговым наименованием «Баба-яга». ТТХ всех таких типов БПЛА указаны в п. 3.1 данной статьи.

4.2. Защита танков, бронетехники, транспортных средств от БПЛА

Необходимость защиты от БПЛА привела сначала к разработке и применению «кустарных» заградительных конструкций на боевой технике, называемым в народе «мангалами», а с начала 2024 г. – к штатному комплектованию танков и бронетехники подобными конструкциями.

Анализ работ [9-10] показал, что для защиты танков, бронетехники и транспортных средств от БПЛА чаще всего используются:

- разнесённые бронелисты и решётчатые экраны от кумулятивных боеприпасов;
- сварные каркасы из металлических листов, прутьев или труб малого диаметра;
- металлические сети, сетка-рабица, маскировочные, рыболовные, волейбольные и орнитологические сети, натягиваемые поверх металлических каркасов;
- заграждения из цепей, закрепляемых на металлическом каркасе;
- использование других подручных средств – досок, бревен, деревянных ящиков от боеприпасов, размещаемых поверх корпуса боевой техники.

Задача всех этих конструкций – инициировать заблаговременное нештатное срабатывание ВУ при его сбросе с БПЛА или атаке FPV-БПЛА. Применение маскировочных сетей также повышает разведзащищенность военной техники.

Примеры защиты танков, бронетехники и транспортных средств «кустарными» и штатными заградительными конструкциями, представлены на рис. 15-29.



Рис. 15. Танк, оборудованный «кустарной» защитой из металлических листов, решеток и цепей на металлическом несущем каркасе



Рис. 16. Процесс оборудования танка «кустарной» защитой из металлических листов на металлическом несущем каркасе



Рис. 17. Танк, оборудованный «кустарной» защитой из деревянных ящиков, сетки-рабицы и маскировочных сетей на металлическом каркасе



Рис. 18. БМП-1, оборудованный «кустарной» защитой из металлических листов, сетки-рабицы и маскировочных сетей на металлическом каркасе



Рис. 19. БМП-2, оборудованная «кустарной» защитой из сетки-рабицы на металлическом каркасе



Рис. 20. БМП-2, оборудованный «кустарной» защитой из металлических и маскировочных сетей, цепных заграждений на металлическом каркасе



Рис. 21. БМП-3, оборудованный «кустарной» защитой из сетки-рабицы и маскировочной сети на металлическом каркасе. Предусмотрен специальный откидной люк в решётчатом навесе



Рис. 22. Танк, оборудованный «кустарной» защитой из сетки-рабицы и маскировочной сети на металлическом каркасе



Рис. 23. БМП-4, оборудованный штатной защитой из противоккумулятивных решётчатых экранов по периметру и в верхней полусфере



Рис. 24. БМП-3, оборудованный штатной защитой из противоккумулятивных решётчатых экранов по периметру и в верхней полусфере



Рис. 25. Танк, с штатной защитой
в верхней полусфере



Рис. 26. МТЛБ, оборудованная «кустарной» защитой из металличе-
ческих листов и сетей, волейбольных сетей на металлическом
каркасе



Рис. 27. УАЗ СГР, оборудованный «кустарной» защитой из сетки-рабицы на металлическом каркасе



Рис. 28. Грузовой автомобиль, оборудованный «кустарной» защитой из металлических решеток и маскировочной сетей на металлическом каркасе



Рис. 29. Бронеавтомобиль, оборудованный «кустарной» защитой из металлических решеток на металлическом каркасе

К сожалению, необходимо отметить, что по состоянию на 2025 г. защита танков, бронетехники, транспортных средств от БПЛА, в основном носит «кустарный» и эмпирический характер. В этой связи необходимо, чтобы богатый опыт, полученный в ходе СВО, по повышению живучести военной техники в условиях ударов БПЛА был тщательно проанализирован и обобщен. Для этого следует произвести соответствующие исследования эффективности применяемых конструкций, по итогу которых все отечественные образцы ВВСТ будут штатно оснащены надежной защитой от БПЛА. Потому что, по состоянию на 2025 г., какие-либо научные публикации по научному обоснованию систем пассивных ЗОК для образцов ВВСТ фактически отсутствуют.

Заключение

Опыт проведения СВО показал, что одним из наиболее эффективных средств защиты зданий, сооружений, фортификаций и военной техники от БПЛА являются ЗОК. Вместе с тем научные основы проектирования и применения такой защиты являются в настоящее время недостаточно проработанными. В наибольшей степени проработанными являются способы применения ЗОК для защиты стационарных объектов, прежде всего, объектов ТЭК, атаки которых БПЛА ВСУ ведутся в период СВО практически ежедневно. Вопросы же создания ЗОК фортификационных сооружений, танков, бронетехники и транспорта для их защиты от БПЛА проработаны в недостаточной степени и представляются авторам актуальным направлением дальнейших исследований.

Литература

1. Макаренко С. И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам. – СПб.: Научные технологии, 2020. – 204 с.

2. Макаренко С. И., Тимошенко А. В., Васильченко А. С. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 1. Беспилотный летательный аппарат как объект обнаружения и поражения // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 1. С. 109-146. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10105.

3. Макаренко С. И. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 2. Огневое поражение и физический перехват // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 1. С. 147-197. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10106.

4. Макаренко С. И. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 3. Радиоэлектронное подавление систем навигации и радиосвязи // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 2. С. 101-175. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10205.

5. Макаренко С. И. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 4. Функциональное поражение сверхвысокочастотным и лазерным излучениями // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 3. С. 122-157. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10304.

6. Полянцева Е. Р. Архитектурная защита зданий от атаки БПЛА // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 1. С. 99-109. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-99-109.

7. Макаренко С. И., Старостин А. В. Противовоздушная оборона страны от ударов беспилотных летательных аппаратов и крылатых ракет: новые угрозы, проблемные вопросы, технико-экономический анализ вариантов архитектуры // Системы управления, связи и безопасности. 2024. № 2. С. 86-148. DOI: 10.24412/2410-9916-2024-2-086-148.

8. Маркин А. В. Обобщение боевого опыта южного крыла СВО до апреля 2024 года. – М.: Социально-политическая мысль, 2024. – 220 с.

9. Танк Царь-мангал или «Железный капут» по-русски. Новое слово в защите техники на поле боя // Дзен [Электронный ресурс]. 24.04.2024. – URL: https://dzen.ru/a/Zig_3R7gVGIPxR47 (дата обращения: 10.05.2025).

10. Защита от сбросов и БПЛА-камикадзе позиций техники сетками и прочим // Дзен [Электронный ресурс]. 29.12.2024. – URL: <https://dzen.ru/a/Z29vr2XA7F6UqDrA> (дата обращения: 10.05.2025).

11. Тотальная мангализация защита техники на современной войне. Фото-обзор // Дзен [Электронный ресурс]. 28.07.2024. – URL: <https://dzen.ru/a/ZqS1CfEJOByLCvgH> (дата обращения: 10.05.2025).

12. Маркин А. В. Обобщение боевого опыта СВО до декабря 2024 года. 2-я тетрадь. – М.: Издатель А. В. Воробьев, 2025. – 225 с. – URL: <https://conjuncture.ru/wp-content/uploads/2025/02/book-markin-combat-experience-special-military-operation-2024-second-notebook-2025.pdf>.

13. Инженерные сооружения защиты от диверсионно-террористических актов с использованием беспилотных летательных аппаратов // Управление по

делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям Великого Новгорода [Электронный ресурс]. 2024. – URL: <http://tinybrowser/images/pamyatki/2024/16.docx> (дата обращения: 10.05.2025).

14. Комаров А. А., Громов Н. В., Корольченко А. Д. Использование сетчатых экранов для защиты промышленных объектов от беспилотных летательных аппаратов // Безопасность труда в промышленности. 2025. № 1. С. 76-82. DOI: 10.24000/0409-2961-2025-1-76-82

15. Комаров А. А., Громов Н. В., Корольченко А. Д., Ланской П. С. Общие принципы защиты объектов от беспилотных летательных аппаратов // Пожаровзрывобезопасность. 2024. Т. 33. № 5. С. 51-60. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.05.51-60

16. Сафонов А. В., Щелкунова М. А., Агеева К. А., Молчанов С. А. Защитные ограждающие конструкции из сеток от беспилотных воздушных судов // Технологии гражданской безопасности. 2025. Т. 22. № 1 (83). С. 76-84.

17. Богданов И. С., Чернышов П. О. Вариант типовой быстровозводимой защитной ограждающей конструкции от атак БПЛА // Комплексные технологии в механике и транспортном строительстве. Сборник статей III межвузовской научно-практической конференции, посвящённой памяти профессора Г.Н. Гаврилова. – СПб., Петергоф, 2024. – С. 155-161.

18. Сабитов Л. С., Закирова М. А., Адушкин К. Г., Фомин Н. И., Ведяков М. И., Карпов Р. М. Разработка конструктивно-технологических решений по защите объектов энергетики от атак БПЛА // Строительная механика и расчет сооружений. 2025. № 1 (318). С. 65-75. DOI: 10.37538/0039-2383.2025.1.65.75

19. Чихачев А. В., Ковалев В. В., Ерыгин В. В. Вариант организации обороны объектов от воздушного нападения // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооружённых Сил Российской Федерации. 2023. № 1 (27). С. 72-78.

20. СП 542.1325800.2024. Защитные ограждающие конструкции от беспилотных летательных аппаратов. Правила проектирования. – М., 2024. – 30 с.

21. Рекомендации по проектированию, строительству, эксплуатации и применению защитных ограждающих конструкций от атак беспилотных летательных аппаратов. – М.: Минстрой России, 2024.

References

1. Makarenko S. I. *Counter Unmanned Aerial Vehicles*. Saint Petersburg, Naukoemkie Tehnologii Publ., 2020. 204 p. (in Russian).

2. Makarenko S. I., Timoshenko A. V., Vasilchenko A. S. Counter unmanned aerial vehicles. Part 1. Unmanned aerial vehicle as an object of detection and destruction. *Systems of Control, Communication and Security*, 2020, no. 1, pp. 109-146. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10105 (in Russian).

3. Makarenko S. I. Counter unmanned aerial vehicles. Part 2. Rocket and artillery fire, physical interception. *Systems of Control, Communication and Security*, 2020, no. 1, pp. 147-197. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10106 (in Russian).

4. Makarenko S. I. Counter unmanned aerial vehicles. Part 3. Electronic warfare against navigation and radio connection subsystems of unmanned aerial vehicles. *Systems of Control, Communication and Security*, 2020, no. 2, pp. 101-175. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10205 (in Russian).

5. Makarenko S. I. Counter unmanned aerial vehicles. Part 4. Functional destroying with microwave and laser weapons. *Systems of Control, Communication and Security*, 2020, no. 3, pp. 122-157. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10304 (in Russian).

6. Polyantseva E. R. Architectural protection of buildings against UAV attack. *Journal of Construction and Architecture*, 2025, vol. 27, no 1, pp. 99-100. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-99-109 (in Russian).

7. Makarenko S. I., Starostin A. V. Country's air defense system against strikes with unmanned aerial vehicles and cruise missiles: new threats, problematic issues, technical and economic analysis of architecture variants. *Systems of Control, Communication and Security*, 2024, no. 2, pp. 86-148. DOI: 10.24412/2410-9916-2024-2-086-148 (in Russian).

8. Markin A. V. *Obobshhenie boevogo opy`ta yuzhnogo kry`la SVO do aprelya 2024 goda* [Generalization of the combat experience of the southern wing of the SVO until April 2024]. Moscow, Socio-political Thought, 2024. 220 p. (in Russian).

9. The Tsar-mangal tank or "Iron Kaput" in Russian. A new word in the protection of equipment on the battlefield. *Dzen*. Available at: https://dzen.ru/a/Zig_3R7gVGIPxR47 (accessed 10 May 2025) (in Russian).

10. Protection against drops and kamikaze UAVs of equipment positions with nets and other things. *Dzen*. Available at: <https://dzen.ru/a/Z29vr2XA7F6UqDrA> (accessed 10 may 2025) (in Russian).

11. Total MANGALIZATSII protection of technology in modern warfare Photo review. *Dzen*. Available at: <https://dzen.ru/a/ZqS1CfEJOByLCvgH> (accessed 10 may 2025) (in Russian).

12. Markin A. V. *Obobshhenie boevogo opy`ta SVO do dekabrya 2024 goda. 2-ya tetrad`* [Generalization of the combat experience of the SVO until December 2024. 2nd notebook]. Moscow, Publisher A. V. Vorobyov, 2025. 225 p. Available at: <http://conjuncture.ru/wp-content/uploads/2025/02/book-markin-combat-experience-special-military-operation-2024-second-notebook-2025.pdf> (accessed 10 may 2025) (in Russian).

13. Engineering structures for protection against sabotage and terrorist acts using unmanned aerial vehicles. *Department of Civil Defense and Emergency Situations of Veliky Novgorod*. Available at: <https://tinybrowser/images/pamyatki/2024/16.docx> (accessed 10 may 2025) (in Russian).

14. Komarov A. A., Gromov N. V., Korolchenko A. D. The use of mesh screens to protect industrial facilities from unmanned aerial vehicles. *Occupational*

safety in industry, 2025, no. 1, pp. 76-82 (in Russian). DOI: 10.24000/0409-2961-2025-1-76-82

15. Komarov A. A., Gromov N. V., Korolchenko A. D., Lanskoj P. S. Protection of objects from unmanned aerial vehicles. *Fire and Explosion Safety*, 2024, vol. 33, no. 5, pp. 51-60 (in Russian). DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.05.51-60

16. Safonov A. V., Schelkunova M. A., Ageeva K. A., Molchanov S. A. Protective fencing structures against unmanned aircrafts made of nets. *Technology Civil Security*, 2025, vol. 22, no. 1 (83), pp. 76-84 (in Russian).

17. Bogdanov I. S., Chernyshov P. O. Variant tipovoj bystrovozvodimoj zashchitnoj ograzhdayushchej konstrukcii ot atak BPLA [A variant of a typical prefabricated protective enclosing structure against UAV attacks]. *Kompleksnye tekhnologii v mekhanike i transportnom stroitel'stve. Sbornik statej III mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchyonnoj pamyati professora G.N. Gavrilova* [Integrated technologies in mechanics and transport construction. Collection of articles of the III interuniversity scientific and practical conference dedicated to the memory of Professor G.N. Gavrilov]. St. Petersburg, Peterhof, 2024, pp. 155-161 (in Russian).

18. Sabitov L. S., Zakirova M. A., Adushkin K. G., Fomin N. I., Vedyakov M. I., Karpov R. M. Development of engineering solutions to protect energy facilities from UAV attacks. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*, 2025, no. 1 (318), pp. 65-75 (in Russian). DOI: 10.37538/0039-2383.2025.1.65.75

19. Chikhachev A. V., Kovalyev V. V., Erygin V. V. Option of organizing the defense of objects from air attack. *Scientific challenges of logistical support of the armed forces of the Russian Federation*, 2023, no. 1 (27), pp. 72-78 (in Russian).

20. SP 542.1325800.2024. Zashchitnye ograzhdayushchie konstrukcii ot bespilotnyh letatel'nyh apparatov. Pravila proektirovaniya [SP 542.1325800.2024. Protective fencing structures from unmanned aerial vehicles. Design rules]. Moscow, 2024. 30 p. (in Russian).

21. Rekomendacii po proektirovaniyu, stroitel'stvu, ekspluatatsii i primeneniyu zashchitnyh ograzhdayushchih konstrukcij ot atak bespilotnyh letatel'nyh apparatov [Recommendations on the design, construction, operation and application of protective enclosing structures against attacks by unmanned aerial vehicles]. Moscow, Ministry of Construction of Russia, 2024.

Статья поступила 23 мая 2025 г.

Информация об авторах

Макаренко Сергей Иванович – доктор технических наук, профессор. Профессор кафедры информационной безопасности. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова

(Ленина). Область научных интересов: сети и системы связи; радиоэлектронная борьба; информационное противоборство; комплексы вооружения и военная техника. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Адрес: Россия, 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5.

Тхакахов Алим Артурович – адъюнкт. Военная академия связи. E-mail: thakahov.98@bk.ru

Адрес: Россия, 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр-т, 3.

Counter Unmanned Aerial Vehicles. Part 5. Protective enclosing structures

S. I. Makarenko, A. A. Tkhakakhov

Relevance. In 2022, Russia started the special military operation in Ukraine, after which attacks by unmanned aerial vehicles (UAVs) on military and civilian objects became more frequent. Therefore, the task of countering UAVs has become very urgent. Most of the papers on this topic is devoted to the use of air defense (AD) and electronic warfare (EW) systems. However, these systems have shown their low effectiveness in practice, so the use of protective enclosing structures (PES) has become widespread. **The purpose of the paper** is to systematize and analyze the PES for countering UAVs, including their design features and methods of application. **Results.** The article includes the classification of PES, ways of their use for the protection of buildings, fortifications and equipment, as well as the identification of shortcomings of existing solutions. **The elements of the novelty of the work** are the generalization of its experience in the use of PES and the proposal of new approaches to passive protection, such as combined materials and constructive solutions. **Practical significance.** The material of the paper can be used to design PES, which can be used in the creation of new and modernization of existing facilities, as well as in the development of standards for protection against UAV attacks.

Keywords: unmanned aerial vehicle, UAV, air defense, counteraction to unmanned aerial vehicles, protective enclosing structure, PEC, engineering structure, barrier, network, cable, fortification.

Information about Authors

Sergey Ivanovich Makarenko – Dr. habil. of Engineering Sciences, Docent. Professor of Information Security Department. Saint Petersburg Electrotechnical University 'LETI'. Field of research: stability of network against the purposeful destabilizing factors; electronic warfare; information struggle; weapons and military complexes. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Address: Russia, 197376, Saint Petersburg, Professor Popov Street, 5.

Alim Arturovich Tkhakakhov – Adjunct. Military Academy of Communications. E-mail: thakahov.98@bk.ru

Address: Russia, 194064, Saint Petersburg, Tikhoretsky Prospekt, 3.