

Разработка и анализ модульной системы дополнительной защиты объектов от средств поражения беспилотных летательных аппаратов

Development and analysis of a modular auxiliary protection system for assets against unmanned aerial vehicle munitions

А.Н. Микитенко¹ ©, Р.В. Стрельцов² ©

A.N. Mikitenko¹ ©, R.V. Streltsov² ©

^{1, 2} Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, г. Пермь, Российская Федерация

¹ E-mail: nabts5960.80@mail.ru

² E-mail: romanstreltsov@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема защиты стационарных и подвижных объектов от средств поражения, доставляемых малоразмерными беспилотными летательными аппаратами. Проведен анализ известных технических решений в области дополнительного экранирования, выявлены их недостатки, связанные с ограниченной защищаемой поверхностью, сложностью монтажа, низкой живучестью или невозможностью применения на подвижных объектах. Предложена конструкция защитного экрана на основе унифицированных модульных элементов в виде равнобедренных треугольников, формирующих решетчатую преграду. Описаны принцип работы, конструктивные особенности и способ крепления системы к объектам различной геометрической формы. Основными преимуществами предлагаемого решения являются универсальность, возможность защиты всех поверхностей объекта, простота монтажа и оперативной замены поврежденных элементов, а также отсутствие необходимости в тяжелом внешнем каркасе. Моделирование применения системы на различных образцах техники и оборудования подтверждает ее адаптивность и потенциальную эффективность для снижения поражающего воздействия боеприпасов беспилотных летательных аппаратов.

Abstract. The article addresses the pressing issue of protecting stationary and mobile assets from munitions delivered by small unmanned aerial vehicles (UAVs). An analysis of existing technical solutions in the field of auxiliary shielding was conducted, identifying drawbacks such as limited protective surface area, installation complexity, low survivability, or the inability to be utilized on mobile assets. The paper proposes a protective screen design based on unified modular elements in the form of equilateral triangles, which form a lattice barrier. It describes the operating principle, design features, and attachment method of the system to assets of various geometric shapes. The primary advantages of the proposed solution include its versatility, the capability to protect all surfaces of the asset, ease of installation, rapid replacement of damaged elements, and the elimination of the need for a heavy external frame. Modelling the system's application on various types of equipment and machinery confirms its adaptability and potential effectiveness in mitigating the destructive impact of UAV munitions.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты; средства поражения; дополнительная защита; модульная конструкция; решетчатый экран; противодронная защита; живучесть объекта

Keywords: unmanned aerial vehicles (UAVs); munitions; auxiliary protection; modular design; lattice screen; anti-drone defence; asset survivability

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Микитенко А.Н., Стрельцов Р.В. Разработка и анализ модульной системы дополнительной защиты объектов от средств поражения беспилотных летательных аппаратов // Академический вестник войск национальной гвардии Российской Федерации. – 2026. – № 2. – С. 59–63.

Современный характер военных действий обуславливается массовым применением малоразмерных БПЛА различного типа, включая дроны-камикадзе и аппараты, сбрасывающие боеприпасы. Одной из наиболее серьезных угроз стало поражение объектов в их верхней проекции, а также

использование помехозащищенных систем наведения [1]. В ответ на эти угрозы широкое распространение получили пассивные средства защиты, такие как решетчатые козырьки и сетчатые заграждения [2]. Однако существующие решения часто имеют ограниченную зону защиты, сложны в уста-

новке на подвижные объекты или не обеспечивают необходимой живучести.

Целью данной работы является разработка и анализ конструкции универсального защитного экрана модульного типа, предназначенного для дополнительной защиты всех поверхностей стационарных и подвижных объектов от поражающих элементов БПЛА.

В качестве прототипа рассмотрено устройство для защиты кузова автомобильной техники сетчатым ограждением (патент RU2827535 С1). Его ключевым недостатком является защита только верхней поверхности и специфический способ крепления на тросах [3].

Анализ других известных решений выявил ряд ограничений:

1. Устройства, предназначенные для отбрасывания взрывоопасных предметов (например, RU2818005 С1), обладают низкой живучестью при установке на подвижный объект из-за жесткости каркаса [4].

2. Конструкции баллистической защиты крыш (например, FR2838184 В1) не защищают кормовые поверхности, неудобны в эксплуатации и также имеют проблемы с живучестью из-за консольного крепления [5].

3. Модульные системы укрытий (например, US10961740В2, EP1469144А2) не предназначены для крепления к корпусу подвижного объекта и его дополнительной защиты в движении [6; 7].

Таким образом, актуальной является задача создания легкой, универсальной, простой в монтаже и обслуживании системы, способной адаптироваться к защите различных поверхностей подвижных и стационарных объектов [8].

Предлагаемый защитный экран представляет собой сборку из соединенных между собой унифицированных модульных элементов (рис. 1).

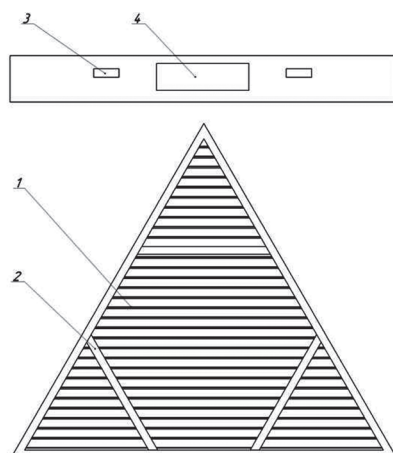


Рис. 1. Модульный элемент: 1 – решетчатый экран; 2 – ребро жесткости; 3 – технологическое отверстие для соединения; 4 – технологическое отверстие для переноски

Модульный элемент выполнен в виде равно-стороннего треугольника из металла (сторона 500 мм, высота борта 40 мм, толщина 4 мм). Его лицевая поверхность представляет собой решетчатый экран, служащий механической преградой. На внутренней стороне расположены ребра жесткости (рис. 1, поз. 2). На каждой стороне имеются технологические отверстия для соединения (поз. 3) и переноски (поз. 4).

Элементы соединяются между собой в двух точках на смежных сторонах с помощью болтов М10, гроверных шайб и гаек, что позволяет быстро заменять поврежденные модули без разборки всей конструкции.

Сборка крепится к корпусу объекта с помощью стоек и распорок, изготавливаемых из П-образного металлического профиля (рис. 2). Полки профиля могут быть выполнены под углом к основанию для монтажа на наклонные и криволинейные поверхности. Крепление осуществляется непосредственно к корпусу объекта, без использования объемного внешнего каркаса.

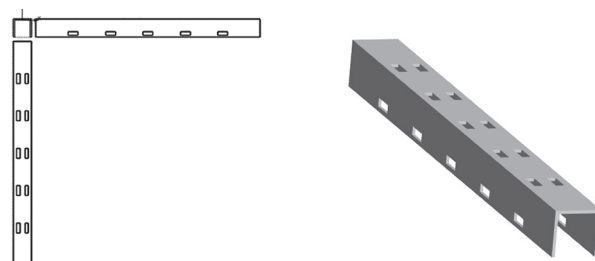


Рис. 2. П-образный металлический профиль

Принцип действия и ожидаемая эффективность.

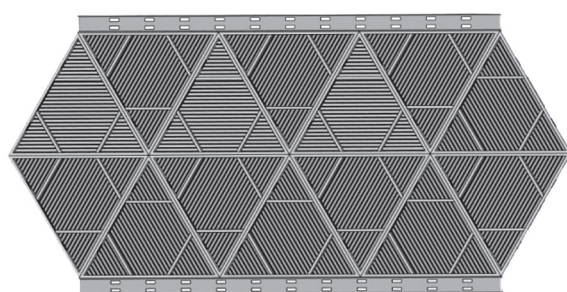
При атаке БПЛА модульный экран выполняет несколько защитных функций:

1. Рикошет и отклонение: горизонтальные полосы решетки способствуют рикошету и изменению траектории кинетических боеприпасов или корпусов дронов.

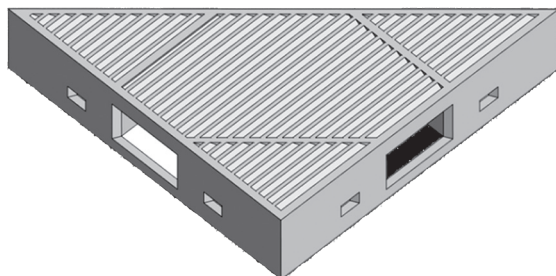
2. Преждевременная детонация: контакт с решеткой может вызвать срабатывание взрывателя кумулятивного боеприпаса на расстоянии от основной брони, значительно ослабляя воздействие кумулятивной струи.

3. Разрушение кумулятивной струи: при прохождении кумулятивного боеприпаса через ячейки решетки, размер которых меньше диаметра кумулятивной воронки, происходит смятие ее стенок, что приводит к разрушению фокусированной струи и снижению пробивной способности.

Использование треугольных модулей обусловлено их высокой жесткостью, устойчивостью к деформации и удобством формирования как плоских, так и пространственных криволинейных поверхностей (рис. 3).



а) вариант сборки



б) модульный элемент

Рис. 3. Вариант сборки защитного экрана из модульных элементов

Модульность и вариативность креплений позволяют адаптировать систему для защиты широкого спектра объектов. На рисунках 4–6 представлены варианты моделирования размещения защитного экрана на полевом контрольно-техническом пункте, специальном автомобиле «Тигр» и боевой машине пехоты. Это подтверждает возможность создания комплексной защиты всех уязвимых поверхностей [9].

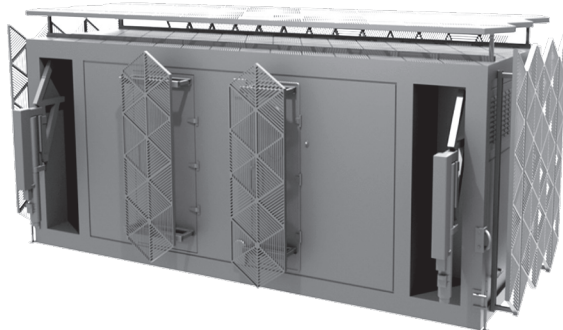


Рис. 4. Вариант размещения защитного экрана на полевом контрольно-техническом пункте

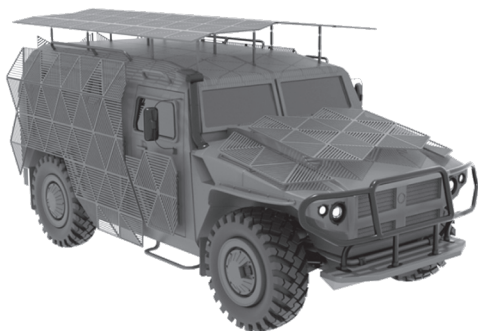


Рис. 5. Вариант размещения защитного экрана на специальном бронированном автомобиле «Тигр»

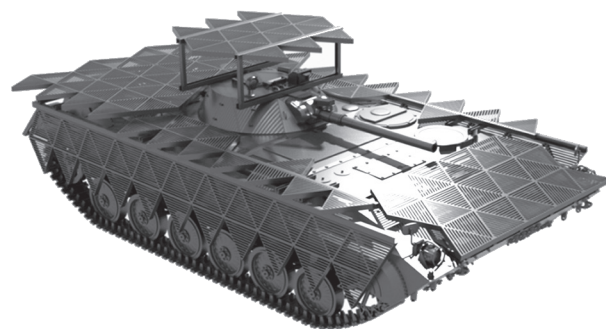


Рис. 6. Вариант размещения защитного экрана на боевой машине пехоты

Используя метод конечно-элементного анализа, проведем анализ статических напряжений, возникающих на защитном экране при его сборке [10].

Проведя исследование с использованием универсального прикладного программного обеспечения ANSYS получим диапазон напряжений от минимального до максимального, возникающего в модели. Расшифровав эти значения, получаем:

1. $715\text{E}+08 = 0.715 \times 10^8 = 71\,500\,000 \text{ Па} = 71.5 \text{ МПа}$.
2. $954\text{E}+08 = 95\,400\,000 \text{ Па} = 95.4 \text{ МПа}$.
3. $119\text{E}+09 = 119\,000\,000 \text{ Па} = 119 \text{ МПа}$.
4. $143\text{E}+09 = 143\,000\,000 \text{ Па} = 143 \text{ МПа}$.
5. $167\text{E}+09 = 167\,000\,000 \text{ Па} = 167 \text{ МПа}$.
6. $191\text{E}+09 = 191\,000\,000 \text{ Па} = 191 \text{ МПа}$.
7. $215\text{E}+09 = 215\,000\,000 \text{ Па} = 215 \text{ МПа}$ (Максимум).

Для полноценной оценки прочности необходимо знать предел текучести материала (σ_T) детали.

Углеродистая сталь (например, сталь 45): $\sigma_T \approx 360 \text{ МПа}$.

Коэффициент запаса прочности (n) по текучести $= \sigma_T / \sigma_{\max} = 360 / 215 \approx 1.67$.

Деталь выдержит нагрузку с запасом. Однако экстремальные зоны (215 МПа) близки к пределу текучести более слабых сталей (например, 235 МПа). Необходима проверка материала.

Высокопрочная сталь: σ_T может быть 600–1000 МПа и выше, тогда запас будет очень большим.

Результаты статического прочностного расчета показывают, что максимальное эквивалентное напряжение составляет 215 МПа и локализовано в малых зонах концентрации.

При использовании материала – обычная конструкционная сталь ($\sigma_T > 235 \text{ МПа}$) – деталь выдержит статическую нагрузку.

Используя метод конечно-элементного анализа, проведем анализ статических напряжений, возникающих на защитном экране, на примере его установки на полевом контрольно-техническом пункте (см. рис. 4).

Расшифровка значений легенды:

1. $-0.001109 = -1.109 \text{ мм}$ (минимум, направлен вниз/против оси Z).

2. $-0.625E-03 = -0.000625 = -0.625$ мм.
3. $-0.142E-03 = -0.000142 = -0.142$ мм.
4. $341E-03 = 0.000341 = +0.341$ мм.
5. $825E-03 = 0.000825 = +0.825$ мм.
6. $867E-03 = 0.000867 = +0.867$ мм.
7. $384E-03 = 0.000384 = +0.384$ мм.
8. $-0.996E-04 = -0.0000996 = -0.0996$ мм.
9. $-0.583E-03 = -0.000583 = -0.583$ мм.
10. $001066 = +1.066$ мм (максимум, направлен вверх/по оси Z).

Анализ ключевых значений:

Максимальное полное перемещение: 0.001259 м = 1.259 мм. Это длина вектора суммарного перемещения ($\sqrt{UX^2+UY^2+UZ^2}$) в самой деформированной точке. Оно больше, чем максимальная компонента (1.066 мм), что логично, так как точка движется не строго по вертикали.

Диапазон перемещений по оси Z: от -1.109 мм до $+1.066$ мм. Знак указывает на направление. Это означает, что одни части детали перемещаются вниз (отрицательное Z), а другие – вверх (положительное Z). Такая картина типична для изгиба.

Интерпретация и анализ деформации.

В результате проведенных расчетов определены величина и направление перемещения вдоль оси Z. Максимальное перемещение вниз (около -1.1 мм), максимальное перемещение вверх (около $+1.0$ мм), в большинстве присутствует перемещение или переход через ноль (где деформация из прогиба вниз переходит в подъем вверх).

Характер деформации: исходя из того, что перемещения по оси Z вверх и вниз близки по модулю (1.1 мм и 1.07 мм) и имеют разные знаки, а также учитывая наличие ускорения, наиболее вероятный вид нагружения – изгиб под действием собственного веса (гравитации) и, возможно, дополнительных сил.

Жесткость конструкции: абсолютные значения деформации (около 1.26 мм максимум) нужно сравнивать с характерным размером детали (который, судя по сетке, может составлять порядка $200-500$ мм). Относительная деформация будет в районе $(1.26 \text{ мм} / 500 \text{ мм}) \times 100\% = 0.25\%$. Это очень небольшая деформация, что говорит о достаточной жесткости конструкции в целом.

Рассмотрим вариант воздействия БПЛА с массой поражающего элемента до 6 кг на защитный экран верхней проекции специального автомобиля «Тигр».

Анализ перемещений:

Вниз = 2.249 мм.

Анализ напряжений (по шкале):

Шкала показывает положительные значения от 0 до 28.3 МПа:

$0 \rightarrow 3.14 \rightarrow 6.29 \rightarrow 9.43 \rightarrow 12.6 \rightarrow 15.7 \rightarrow 18.9 \rightarrow 22.0 \rightarrow 25.1 \rightarrow 28.3$ МПа

Оценка прочности (по максимальному напряжению 28.3 МПа):

Для стали ($\sigma_T = 235$ МПа):

Запас прочности = $235/28.3 \approx 8.3$ (730%).

Оценка жёсткости конструкции:

Относительная деформация (при характерном размере L):

$\epsilon_{\max} = (\text{Диапазон перемещений}) / L = (0.00043 - 0.000168) / L = 0.000262 / L$.

Согласованность данных:

Перемещения из UZ анализа: максимальное перемещение в модели = 0.00043 .

Перемещения из SEVQ анализа: максимальное перемещение в модели = 0.00043 .

Полное соответствие – данные коррелируют.

Детальный анализ перемещений по оси Y.

Параметры решения:

UY – перемещения по оси Y.

Максимальное перемещение в модели - $313E-03 = 0.000313$.

Минимальное перемещение по Y - SMN = $-911E-04 = -0.0000911$.

Максимальное перемещение по Y - SMX = $238E-03 = 0.000238$.

В результате исследования можно сделать следующие технические выводы:

Низкий уровень напряжений – 28.3 МПа.

Приемлемые перемещения – 2.249 мм.

Теоретически хороший запас прочности.

Малые перемещения – 0.00043 единиц свидетельствуют о достаточной жёсткости.

Согласованность данных – различные анализы показывают одинаковые значения перемещений.

Физически корректная картина деформации.

Таким образом, разработана и исследована концепция модульной системы дополнительной защиты объектов от БПЛА. Предложенное решение устраняет ключевые недостатки существующих аналогов за счет:

– универсальности – возможности адаптации к защите любой поверхности стационарных и подвижных объектов;

– практичности – простоты монтажа, отсутствия тяжелого каркаса и легкости замены поврежденных элементов;

– эффективности – комплексного воздействия на различные типы поражающих элементов БПЛА (кинетические, кумулятивные) за счет комбинации рикошета, преждевременной детонации и разрушения кумулятивной струи.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию геометрических параметров решетки и модулей под конкретные типы угроз, а также на проведение натурных испытаний для количественной оценки уровня повышения защищенности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Памятка по защите и противодействию БПЛА противника [Электронный ресурс]. – URL: <https://nvkarta.com/project/library/uploads/military/bpla/> (дата обращения: 01.05.2025).
2. Сетки и решётки – простое вундерваффе XXI века: в преддверии массированных атак украинских FPV-дронов. Военное обозрение. Дроны [Электронный ресурс]. – URL: <https://topwar.ru/214848-setki-i-reshetki-prostoe-vundervaffe-xxi-veka-v-preddverii-massirovannyh-atak-ukrainskih-fpv-dronov.html> (дата обращения: 01.05.2025).
3. RU2827535 C1. Способ защиты кузова автомобильной техники и защитное сетчатое устройство от падающих снарядов с малоразмерных беспилотных летательных аппаратов. Оpubл. 30.09.2024.
4. RU2818005 C1. Устройство для защиты автомобиля от взрывоопасного предмета, сбрасываемого с коптера. Оpubл. 23.04.2024.
5. FR2838184 B1. DEVICE FOR PROTECTING A VEHICLE ROOF. Оpubл. 10.10.2003.
6. US10961740B2. Система модульных компонентов для сборки укрытия наземного сооружения. Оpubл. 30.03.2021.
7. EP1469144A2. Баллистическое укрытие. Оpubл. 20.10.2004.
8. Информационно-аналитический обзор «Анализ образцов вооружения, военной и специальной техники, поставляемых иностранными государствами Украине в рамках военной помощи» / Федеральная служба войск национальной гвардии Российской Федерации // Главный центр научных исследований Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации. – М., 2023.
9. Дюнов В.А., Микитенко А.Н., Стрельцов Р.В. Отчет о научно-исследовательской работе «Способы повышения защищенности и приемы противодействия беспилотным летательным аппаратам противника при эксплуатации бронетанкового вооружения и автобронетанковой техники войск национальной гвардии Российской Федерации (заключительный)». – М.: ПВИ ВНГ РФ, 2025. – 132 с.
10. Стрельцов Р.В. Унифицированная защита объектов вооружения, военной и специальной техники // Перспективные направления развития вооружения, военной и специальной техники: сборник научных материалов / под общ. ред. Р.В. Стрельцова. – Пермь: ПВИ войск национальной гвардии, 2025. – 80 с.

Статья проверена программой Антиплагиат. Оригинальность — 93 %.

Статья поступила в редакцию 02.02.2026; одобрена после рецензирования 07.04.2026; принята к публикации 15.05.2026.