

УДК 692:355.58

В. В. Габова, Е. С. Мельникова, А. А. Чураков

Волгоградский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Рассмотрены защитные ограждающие конструкции, обеспечивающие отражение атак беспилотных летательных аппаратов. Перечислены конструктивные решения. Рассматриваются проблемы проектирования, связанные с неэффективностью существующих методов защиты и необходимостью разработки новых, более действенных решений.

К л ю ч е в ы е с л о в а: защитные ограждающие конструкции, беспилотные летательные аппараты, проектирование, опорные конструкции, защита объектов инфраструктуры, ударная волна.

Введение

В современных условиях защита критически важных объектов инфраструктуры от атак беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) становится все более актуальной задачей. Растущая доступность и технологическое совершенствование БПЛА создают новые угрозы для безопасности энергетических, транспортных, промышленных и гражданских объектов. В этой связи разработка эффективных методов проектирования защитных ограждающих конструкций (ЗОК) от атак БПЛА приобретает особую значимость.

Целью данного исследования является разработка методологии проектирования ЗОК, позволяющей создавать надежные системы защиты, адаптированные под конкретные объекты и сценарии атак БПЛА.

Для всех зданий и сооружений должны выполняться требования федерального закона № 68-ФЗ¹. Однако для обеспечения безопасности людей в условиях взрывного воздействия необходимы не только использование защитных средств и систем мониторинга, но и разработка соответствующих проектных решений для зданий и сооружений. Эти проекты должны предусматривать возможность сопротивления потенциальным прогрессирующим обрушениям конструкций, которые могут возникнуть под влиянием динамических факторов, связанных с взрывами конденсированных взрывчатых веществ. Комплексный подход к проектированию, учитывающий также геодетические и сейсмические характеристики местности, является ключевым фактором в создании безопасной городской среды. Эти знания станут основой для разработки архитектурных решений.

Со временем требования к строительным конструкциям и их устойчивости к внешним воздействиям становятся все более строгими. Организации, занимающиеся вопросами безопасности, непрерывно обновляют и мотивируют научные исследования в данной области, стремясь разработать более эффективные и экономически целесообразные методы защиты зданий.

¹ О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ (ред. от 14.04.2023). URL: <https://docs.cntd.ru/document/9009935>.

В современной городской среде многие здания расположены в непосредственной близости друг от друга, что увеличивает риск вторичных эффектов при взрывных воздействиях. Являясь потенциальными целями, здания различного назначения — от жилых и офисных до промышленных и общественных — требуют глубокого понимания механики взрывного воздействия, чтобы обеспечить необходимую защиту и минимизировать возможные разрушения. Неудача в обеспечении безопасности может приводить к катастрофическим последствиям, включая гибель людей, разрушение имущества и долгосрочные экономические потери.

Как показывает практика, существующие подходы к защите объектов от БПЛА часто не учитывают всю специфику данной угрозы и не обеспечивают комплексного решения проблемы. Проблема заключается в том, что некоторые методы, например радиочастотное подавление, могут быть недостаточно эффективными, особенно когда речь идет о массовых атаках. В этом контексте становятся значимыми инновационные подходы к проектированию защитных конструкций, включая использование новых материалов, таких как наноматериалы, что предоставляется перспективным для повышения уровня защиты объектов от атак БПЛА [1, 2].

Материалы и методы

При анализе задачи проектирования защиты от атак БПЛА важно проводить их классификацию на основе габаритных размеров и веса, а также с учетом назначения и применения [3]. Учитывая критическую роль скорости БПЛА при его перехвате средствами противовоздушной обороны, рекомендуется выделить различные категории БПЛА в зависимости от их маневренной скорости на поле боя:

- малоскоростные БПЛА — со скоростями полета до 200 км/ч (максимально в этом классе — 250 км/ч);
- среднескоростные БПЛА — от 150 до 400 км/ч (максимально — 450 км/ч);
- скоростные БПЛА — от 350 до 800 км / ч (максимально в этом классе — 900...980 км/ч).

В таблице представлены основные модели БПЛА, при помощи которых производятся атаки на различные виды объектов инфраструктуры.

Во время мощных взрывов в ударной волне возникают высокие давления, что может привести к значительным разрушениям строительных объектов. Последствия взрыва характеризуются переменными и непредсказуемыми параметрами. Следует подчеркнуть, что расхождения в данных экспериментов могут достигать 30 % [4]. Как место, так и мощность взрыва могут быть установлены лишь с определенной вероятностью. Для защиты жизни людей, находящихся вне зоны действия непосредственно взрыва, необходимо использовать методы, позволяющие оценивать общую устойчивость зданий и сооружений. Все это подчеркивает актуальность текущих исследований в данной области.

Взрывные нагрузки относятся к особому виду силовых воздействий. В большинстве случаев они имеют локальный характер, однако их сила может многократно превышать расчетные показатели для сооружений. При этом строительные конструкции и элементы подвергаются влияниям в разных направлениях, не предусмотренных расчетами.

Классификация БПЛА

Тип конструкции	Наименование	Высота полета, м	Максимальная скорость полета, км/ч	Радиус действия, км
Мультироторный	«Вампир» R-36 («Баба-Яга»)	400	80	10
Коптерный	«Хантер-Д1»	1500	130	10
Коптерный	«Химера-7»	2000	130	10
Коптерный	«Химера-10»	2000	130	12
Коптерный	«Мамонт»	2000	130	15
Коптерный	Matrice-30t	5000	80	15
Самолетный	«Валькирия»	5000	108	34
Самолетный	«Лелека-100»	3600	120	45
Самолетный	«Фурия»	2100	130	50
Самолетный	Penguin C Mk2	4100	130	50
Самолетный	Непромышленного производства	2100	100	250

Результаты и обсуждение

В ходе проектирования зданий и сооружений выполняются расчеты, направленные на оценку их устойчивости к прогрессирующему обрушению, которое может произойти вследствие локальных повреждений несущих элементов в результате воздействия взрывной волны.

Эффективное проектирование конструкций, устойчивых к взрывам, должно основываться на достаточной расчетной базе и математическом моделировании [5, 6] с использованием современных высокоскоростных компьютеров и специализированных программных комплексов.

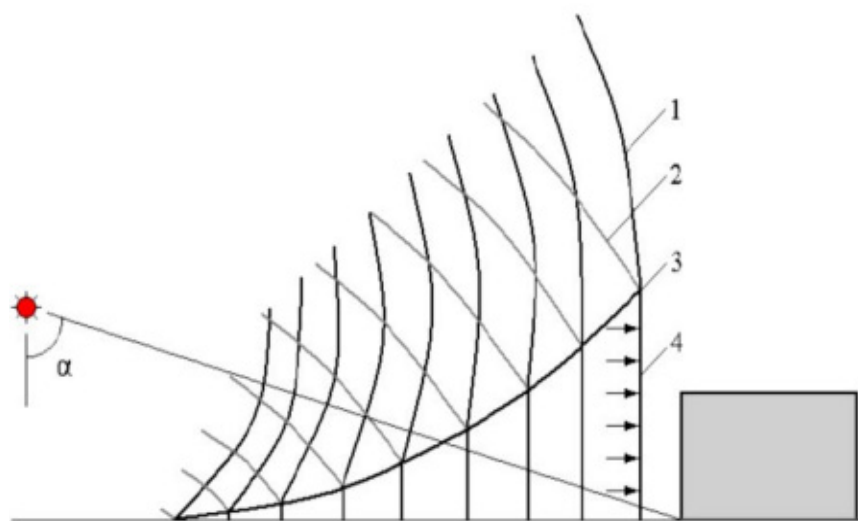
Анализ строительных сооружений на устойчивость к взрывным воздействиям проводится с применением методов динамики зданий, в рамках которых можно выделить несколько ключевых направлений [7]:

- упрощенные методы расчета, основанные на использовании эквивалентных статических нагрузок, получаемых в результате анализа данных динамических расчетов;
- приближенные динамические методы, позволяющие при решении обыкновенных дифференциальных уравнений получить расчетные аналитические зависимости;
- численные методы высокой точности с использованием различных моделей работы материала (диаграмм $\sigma - \epsilon$).

С технической точки зрения изучение взрывных нагрузок включает в себя многослойный подход — начиная от теоретической базы, описывающей физическое взаимодействие взрывных волн с материалами, заканчивая прикладными испытаниями и моделированием. Важно понимать динамическое поведение различных конструкционных материалов, характер их разрушения и способы повышения их устойчивости. Существование большой вариативности в типах взрывов, их мощностях и условиях окружающей среды требует от исследователей применения комплексных методов анализа и многоуровневого подхода к защите.

При этом стоит подчеркнуть, что динамические нагрузки, будучи взрывными, существенно отличаются от статических [8, 9]. Подобные нагрузки в значительной мере не только изменяют поведение конструкции на уровне ее структуры, но и существенно влияют на реакцию материалов с точки зрения их внутреннего строения. Скорость воздействия и инерционные характеристики материалов приводят к образованию огромных давлений в конкретных областях [10]. Сравнение взрывных и традиционных строительных нагрузок становится важным аспектом, который все более активно учитывается при проектировании. Таким образом, необходимо принимать во внимание любые нагрузки, даже если они кажутся маловероятными

Энергия ударных волн в атмосфере уменьшается экспоненциально с увеличением расстояния от места взрыва. При этом, встречая препятствия, такие как здания, ударные волны отражаются, усиливая свое воздействие в окружающем воздухе. Эффект отражения усиливается в зависимости от мощности воздушного удара и угла наклона фронта волны по отношению к конструкции. Когда ударная или взрывная волна воздействует на здание, возникает множество реакций, зависящих от силы взрыва, расстояния до его эпицентра, габаритов здания относительно места взрыва, а также от продолжительности воздействия волны [11, 12]. Это отображено на рис. 1, демонстрирующем влияние взрывной волны на здание (сооружение).



ЗОК играют важную роль в обеспечении безопасности и долговечности зданий. На гражданских и производственных объектах существует большое количество рисков, приводящих к аварийным ситуациям и разрушению здания в целом. Существует широкий спектр материалов, которые используются для создания ограждающих конструкций: кирпич, бетон, металл. Так, для обеспечения безопасности на АЗС используются железобетонные защитные экраны [13]. Как уже сказано, БПЛА имеют различный тип конструкции, сле-

довательно предугадать вид, а также характер атаки невозможно. Следовательно, несмотря на прочность, долговечность, функциональность и низкие затраты на техническое обслуживание, железобетон и кирпич невозможно рассматривать как материал для ЗОК от БПЛА, т. к. они защищают сооружение только в горизонтальном направлении.

Существующие противоосколочные экраны и энергопоглощающие устройства, хотя и способны снизить ущерб от атак, однако нуждаются в дальнейших инновациях и оптимизации для обеспечения лучшей защиты. Проектирование более широкомасштабных решений с учетом текущих ограничений позволит обеспечить более надежную и доступную защиту от угроз, исходящих от БПЛА, что особенно актуально в условиях стремительного технического прогресса.

Противоосколочные экраны представляются особо важными, поскольку они служат критическим барьером при противодействии физическому воздействию от атак БПЛА. Противоосколочные экраны должны предотвращать поражение защищаемого объекта и людей осколками или поражающими элементами заряда, обеспечивать недопущение обратного откола элементов ЗОК. Эти конструкции обязаны учитывать весь спектр возможных угроз, связанных с БПЛА, от осколков и ударных воздействий до обратного откола элементов, что делает их надежность и функциональность ключевыми факторами в поддержании безопасности.

При проектировании ЗОК необходимо учитывать разнообразие угроз и средств атак, а также специфику защищаемого объекта. Эти конструкции должны быть прочными и адаптивными, чтобы эффективно противостоять возможным сценариям атак. Особое внимание следует уделить соответствию проектируемых систем защиты требованиям нормативных документов, таких как ГОСТ 2172-80². Важность этого шага демонстрируется на примере улавливающих конструкций из стальных канатов. Это обеспечивает не только соответствие законодательным требованиям, но и гарантирует надежность конструкций в условиях высоких нагрузок. Отсутствие такого подхода может привести к увеличению уязвимости объектов перед новыми типами угроз.

В настоящее время Минстрой работает над проектом СП, который демонстрирует виды защиты от БПЛА. Данный документ включает в себя рекомендации по использованию и монтажу защитных ограждающих систем для обеспечения безопасности зданий, сооружений и строений гражданского и промышленного назначения. ЗОК включают следующие элементы:

- улавливающие сетчатые конструкции (УСК) из основной и дополнительных защитных сеток. Основная сетка препятствует контакту с объектом, а дополнительные — улавливают осколки;
 - стальные тросы или канаты препятствуют пролету аппарата;
 - опоры, опорные конструкции используют для крепления защитных элементов;
 - растяжки из стальных тросов, канатов для обеспечения жесткости;
 - фундамент передает нагрузку от каркасов на грунтовое основание;
 - тьюфики, маты, противоосколочные стенки, улавливающие осколки.
- Рассмотрим возможные примеры расположения ЗОК (рис. 2).

² ГОСТ 2172-80. Канаты стальные авиационные. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200011478>.

На независимом каркасе:

- ЗОК располагаются на отдельно стоящих независимых конструкциях;
- нагрузки, воспринимаемые ЗОК, передаются на собственный несущий каркас, минуя защищаемое сооружение;

- применяются при пролетах и высоте конструкции менее 15 м.

На зависимом каркасе:

- ЗОК располагаются на конструкциях защищаемых объектов;
- нагрузки, воспринимаемые ЗОК, передаются на защищаемое сооружение.

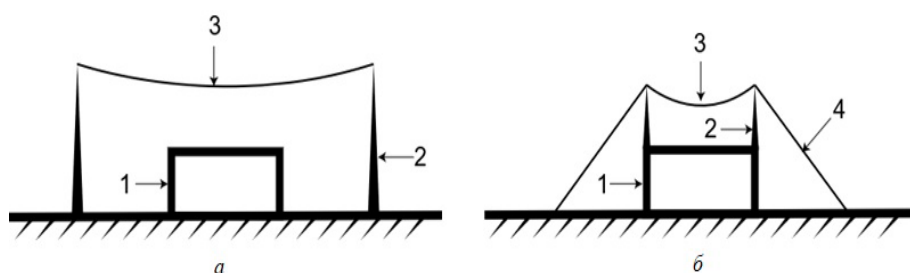


Рис. 2. Схема ЗОК: *а* — на независимом каркасе; *б* — на зависимом каркасе;
 1 — защищаемое сооружение; 2 — опора; 3 — защитная сетка; 4 — растяжка

Рассмотрим расчет нагрузки основного эксплуатационного периода ЗОК для объекта с размерами 55 м × 35 м и высотой 18,3 м. Диаметр проволоки — 0,001 м, плотность материала проволоки — 7800 кг / м³, масса защитной сетки от БПЛА С80 — 1,55 кг / м².

Значение гололедной нагрузки i' на 1 м² УСК определяется по формуле:

$$i' = il, \quad (1)$$

где l — удельная длина проволоки, приходящейся на 1 м² УСК, м⁻¹. Для круглых сечений:

$$l = \frac{4m}{\pi \rho_n d^2} = \frac{4 \cdot 1,55}{3,14 \cdot 7800 \cdot 0,01^2} = 2,53 \text{ м}^{-1}, \quad (2)$$

где m — масса 1 м² УСК, кг/м²; ρ_n — плотность материала проволоки кг / м³; d — диаметр проволоки, м.

Значение линейной гололедной нагрузки i , Н / м, приходящейся на 1 м проволоки УСК, определяется в соответствии с СП 20.13330.2016³. Принимаем $i = 100 \text{ Н / м}$. Тогда значение гололедной нагрузки:

$$i' = il = 100 \cdot 2,53 = 253 \text{ Н/м}^2.$$

Толщина стенки гололеда b , м, учитываемая для ветровых нагрузок, определяются по формуле:

³ СП.20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. М. : Министерство регионального развития РФ, 2011. 76 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044318>.

$$b = \sqrt{d^2 + \frac{4i}{\rho_{\text{л}} g}} - d = \sqrt{0,01^2 + \frac{4 \cdot 100}{3,14 \cdot 900 \cdot 9,8}} - 0,01 = 0,001106 \text{ м}, \quad (3)$$

где $\rho_{\text{л}} = 900 \text{ кг / м}^3$ — плотность льда; $g = 9,8 \text{ м / с}^2$ — ускорение свободного падения.

Ветровые нагрузки, приходящиеся от УСК, следует определять как сумму средней w_m и пульсационной составляющих w_g [14]:

$$w = w_m + w_g. \quad (4)$$

Значения средних ветровых нагрузок определяется по формуле:

$$w_m = w_0 k(z_e) c, \quad (5)$$

где w_0 — нормативное значение ветровой нагрузки (п. 11.1.4); $k(z_e)$ — коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z_e (п. 11.1.5 и п. 11.1.6); c — аэродинамический коэффициент (п. 11.1.7); ψ — коэффициент локального изменения скорости ветра.

$$w_m = w_0 k(z_e) c = 0,3 \cdot 0,5245 \cdot 1,503 = 0,236 \text{ кПа}.$$

Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки рассчитывается для принятых параметров (п. 11.1.8):

$$w_g = w_m \xi(z_e) v = 0,236 \cdot 1,5476 \cdot 0,79442 = 0,29 \text{ кПа},$$

где $\xi(z_e)$ — коэффициент пульсации давления ветра, принимаемый для высоты z_e (пп. 11.1.5, 11.1.6); v — коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра (п. 11.1.11).

Нормативное значение ветровой нагрузки:

$$w = w_m + w_g = 0,236 + 0,29 = 0,526 \text{ кПа}.$$

По ГОСТ ТУ 25.93.13-001-04650249—2018 подбираем силовую сетку из металлических тросов толщиной 1 мм с ячейкой 200×200 мм. Кроме того, на металлическую основу может устанавливаться сетка с узкими ячейками, размер которых варьируется от 45×45 мм до 25×25 мм.

Результаты исследования позволяют оптимизировать процессы планирования городской застройки, особенно в районах, где повышены риски возникновения взрывов или разрушений. Здания должны быть размещены с учетом максимальной дистанции от потенциальных эпицентров взрывов. Это создаст дополнительную защиту и повысит общую степень устойчивости городской инфраструктуры.

В настоящее время в г. Волгограде уже начали реализовывать пассивную инженерную защиту от БПЛА на объектах РВС (рис. 3). Это решение предназначено для предотвращения проникновения FPV-драйверов и дронов с возможностью доставки боеприпасов.

Минимальное пространство, отделяющее занавеску от защищаемого объекта, должно быть не менее 5 м. Это расстояние гарантирует, что БПЛА не сможет нанести прямой ущерб объекту и предотвратит прямое взаимодействие между ними.



Рис. 3. Пример реализации ЗОК в г. Волгограде

Процесс монтажа основных и дополнительных конструкций, распределения тяжести канатов, установки активных противовесов и непосредственной сборки занавесок проводится таким образом, чтобы не нарушать нормальное функционирование здания и транспортных средств, а также гарантировать доступ сотрудников к необходимому оборудованию для эксплуатации и технического обслуживания. Стоит подчеркнуть, что из-за простоты конструкций ЗОК возможно осуществление их регулярного обслуживания силами самого предприятия.

Однако, несмотря на высокую степень точности предложенных моделей, необходимо отметить несколько ограничений исследования [15]. Одним из них является упрощение некоторых аспектов поведения материалов при экстремальных условиях. Например, использование линейных моделей прочности может не полностью отражать реальное поведение конструкций при высоких нагрузках. Для более точных расчетов может быть полезным применение нелинейных моделей материалов, а также проведение дополнительных экспериментальных исследований.

Заключение

Таким образом, сегодня актуальной является необходимость комплексного подхода к проектированию зданий в условиях потенциальных угроз. Это включает в себя не только правильный выбор строительных материалов и конструктивных решений, но и соответствующую подготовку проектной документации с учетом всех возможных внешних воздействий, включая взрывные нагрузки. Также необходимо внедрять более строгие стандарты безопасности, ориентированные на устойчивость зданий к экстремальным условиям, проводить регулярные расчеты и оценки зданий, находящихся в зонах повышенного риска.

Данное исследование представляет собой значимый шаг к усилению безопасности современных архитектурных и строительных объектов в условиях

потенциальных взрывных воздействий. В дальнейшем необходимо продолжать исследования в этой области, обращая внимание на новые технологии, более точные методы расчета и расширение существующих нормативных документов. Данные меры позволят значительно повысить устойчивость зданий и сооружений к взрывным воздействиям и минимизировать риски для людей и материальных ценностей [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лопин Г. А., Смирнов Г. И., Ткачев И. Н. Развитие средств борьбы с беспилотными летательными аппаратами // Военная мысль. 2023. № 1. С 42—50.
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. Ростопчин В. В. Ударные беспилотные летательные аппараты и противовоздушная оборона — проблемы и перспективы противостояния // Беспилотная авиация. 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/331772628_Udarnye_bespilotnye летательные аппараты_i_protivovozdusnaa_oborona_-_problemy_i_perspektivy_protivostoania.
4. Гельфанд Б. Е., Сильников М. В. Фугасные эффекты взрывов. СПб.: Полигон, 2002. 272 с.
5. Мкртычев О. В. Безопасность зданий и сооружений при сейсмических и аварийных воздействиях: монография. М.: МГСУ, 2010. 152 с.
6. Тамразян А. Г., Мкртычев О. В., Дорожнинский В. Б. Расчет большепролетной конструкции на аварийные воздействия методами нелинейной динамики // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 5. С. 331—334.
7. Расторгуев Б. С., Плотников А. И., Хуснутдинов Д. З. Проектирование зданий и сооружений при аварийных взрывных воздействиях: учебное пособие. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. 152 с.
8. Anderson C. E., Baker W. E., Wauters D. K., Morris B. L. Quasi-static pressure, duration, and impulse for explosions (e.g. HE) in structures // International Journal of Mechanical Sciences. 1983. Vol. 25. Iss. 6. Pp. 455—464.
9. Nassr A. A., Razaqpur A. G., Tait M. J., Campidelli M. Strength and stability of steel beam columns under blast load // International Journal of Impact Engineering. 2013. Vol. 55. Pp. 34—48.
10. Дутьнев А. И. Воздействие близкого подводного взрыва на элементы корпусных конструкций // Труды Крыловского государственного научного центра. 2019. № 1(387). С. 73—92.
11. Попов А. М., Мужичек С. М., Зайцев М. А. Деформация незащемленных желобообразных металлических пластин при их взрывном нагружении // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2020. № 1. С. 81—87.
12. Lewis W. J. Condensed phase explosions and their blast characteristics // Paper at Euromech. 1981. Vol. 139. P. 7.
13. Габова В. В., Поляков В. Г., Савенкова В. П., Засадченко И. А. Исследование и повышение эффективности защитных строительных конструкций на автомобильной заправочной станции // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 14—23.
14. Габова В. В., Родионов А. В., Сиротенко О. О. Исследование поведения конструкций высотных зданий при воздействии ветровых нагрузок // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93) С. 5—17.
15. Семенов М. И. Оценка деформаций и разрушений зданий при воздействии ударных волн // Строительные конструкции и материалы. 2021. Т. 39. № 7. С. 77—88.

© Габова В. В., Мельникова Е. С., Чураков А. А., 2025

Поступила в редакцию
в декабре 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Габова В. В., Мельникова Е. С., Чураков А. А. Исследование и разработка методологии проектирования защитных ограждающих конструкций от беспилотных летательных аппаратов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 1(98). С. 28—37. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_28.

Об авторах:

Габова Виктория Викторовна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; gabovavv@yandex.ru

Мельникова Екатерина Сергеевна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0009-0001-1799-4633

Чураков Алексей Александрович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-0810-8177

Victoria V. Gabova, Ekaterina S. Melnikova, Alexey A. Churakov

Volgograd State Technical University

**RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY
FOR DESIGNING PROTECTIVE ENCLOSING STRUCTURES
FROM UNMANNED AERIAL VEHICLES**

Protective enclosing structures that repel attacks by unmanned aerial vehicles are considered. Constructive solutions are listed. The problem of design is considered, related to the inefficiency of existing protection methods and the need to develop new, more effective solutions.

Key words: protective enclosing structures, unmanned aerial vehicles, design, support structures, infrastructure protection, shock wave.

For citation:

Gabova V. V., Melnikova E. S., Churakov A. A. [Research and development of a methodology for designing protective enclosing structures from unmanned aerial vehicle]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2025, iss. 1, pp. 28—37. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_28.

About authors:

Victoria V. Gabova — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; gabovavv@yandex.ru

Ekaterina S. Melnikova — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0009-0001-1799-4633

Alexey A. Churakov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-0810-8177