

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2025-24-6-487-495>

УДК 69.033

Разработка концепции комплексной системы защиты объектов критически важной инфраструктуры на основе технологии модульного строительства

Докт. экон. наук, проф. В. П. Грахов¹⁾, асп. Ю. А. Толкачев¹⁾

¹⁾Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» (Ижевск, Российская Федерация)

Реферат. В условиях роста геополитической напряженности во всем мире, а также увеличения частоты террористических актов с использованием высокоточного оружия и беспилотных летательных аппаратов обеспечение безопасности критически важных объектов инфраструктуры становится все более актуальной задачей. Научная новизна работы заключается в разработке и обосновании комплексной системы защиты, которая помимо самих модульных зданий также включает средства пассивной безопасности (бронированные панели и защитные ограждающие конструкции). В работе обосновывается, что технология модульного строительства является оптимальной основой для создания новых объектов, так как сочетает высокую скорость монтажа, заводское качество, экономическую эффективность и возможность интеграции средств пассивной защиты. Основной целью данной работы является разработка концепции комплексной системы защиты объектов критически важной инфраструктуры, которая способна противостоять как прямым атакам высокоточного оружия, так и вторичным последствиям (поражение осколками при взрывах, пожары и пр.). Основные задачи исследования: анализ преимуществ модульной технологии строительства, оценка существующих решений пассивной защиты, разработка интегрированной концепции защиты (совместимой с особенностями модульных конструкций) и обоснование технических требований к ее компонентам. Для достижения цели был проведен анализ научной и нормативной литературы по проектированию модульных зданий, пулестойких элементов и защитных ограждающих конструкций. Результатом работы стали обоснованные технические предложения по применению технологий модульного строительства в сочетании с пулестойкими панелями и защитными ограждающими конструкциями. Применение разработанной концепции позволит создать гибкую и устойчивую инфраструктуру, которая способна функционировать в зонах повышенного риска. Кроме того, предложенная система предполагает не только защиту от атак беспилотных летательных аппаратов, но и минимизацию рисков для жизни и здоровья людей, которые находятся внутри защищаемого здания. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем компаниями – производителями модульных зданий для совершенствования проектных решений и внедрения комплексной защиты на этапе нового строительства.

Ключевые слова: модульное строительство, антитеррористическая безопасность, бронированные панели, защитные ограждающие конструкции, быстровозводимые здания, комплексная защита, устойчивое развитие, пассивная безопасность, баллистическая защита, критически важные объекты инфраструктуры

Для цитирования: Грахов, В. П. Разработка концепции комплексной системы защиты объектов критически важной инфраструктуры на основе технологии модульного строительства / В. П. Грахов, Ю. А. Толкачев // *Наука и техника*. 2025. Т. 24, № 6. С. 487–495. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2025-24-6-487-495>

Development of a Concept for a Comprehensive Critical Infrastructure Protection System Based on Modular Construction Technology

V. P. Grakhov¹⁾, Y. A. Tolkahev¹⁾

¹⁾Kalashnikov Izhevsk State Technical University (Izhevsk, Russian Federation)

Abstract. In the context of growing geopolitical tensions worldwide and the increasing frequency of terrorist attacks employing high-precision weapons and unmanned aerial vehicles (UAVs), ensuring the security of critical infrastructure facilities

Адрес для переписки

Грахов Валерий Павлович
ФГБОУ ВО «Ижевский государственный
технический университет имени М. Т. Калашникова»
ул. Студенческая, 42,
426069, г. Ижевск, Российская Федерация
Тел.: +7 (3412) 77-60-55, доб. 3-256
kafedra.pgs@mail.ru

Address for correspondence

Grakhov Valerii P.
Kalashnikov Izhevsk State
Technical University
42, Studencheskaya str.,
426069, Izhevsk, Russian Federation
Tel.: +7 (3412) 77-60-55, доб. 3-256
kafedra.pgs@mail.ru

is becoming an increasingly urgent task. The scientific novelty of the work lies in the development and substantiation of a comprehensive protection system, which, alongside the modular buildings themselves, incorporates passive safety means (armored panels and protective enclosing structures). The study substantiates that modular construction technology provides an optimal foundation for creating new facilities, as it combines rapid installation, factory quality, cost-effectiveness, and the capability to integrate passive protection means. The main objective of this work is to develop a concept for a comprehensive protection system for critical infrastructure facilities, capable of withstanding both direct attacks by high-precision weapons and secondary effects (fragmentation damage from explosions, fires, etc.). The primary research tasks include: analyzing the advantages of modular construction technology, evaluating existing passive protection solutions, developing an integrated protection concept compatible with the specifics of modular structures, and justifying technical requirements for its components. To achieve this goal, an analysis of scientific and regulatory literature on the design of modular buildings, bullet-resistant elements, and protective enclosing structures was conducted. The outcome of the work comprises well-founded technical proposals for applying modular construction technologies in combination with bullet-resistant panels and protective enclosing structures. Implementing the developed concept will enable the creation of a flexible and resilient infrastructure capable of operating in high-risk areas. Furthermore, the proposed system ensures not only protection against UAV attacks but also minimizes risks to the life and health of personnel inside the protected building. The obtained results can be subsequently used by manufacturers of modular buildings to enhance design solutions and implement integrated protection at the new construction stage.

Keywords: modular construction, anti-terrorist security, armored panels, protective enclosing structures, prefabricated buildings, integrated protection, sustainable development, passive safety, ballistic protection, critical infrastructure

For citation: Grakhov V. P., Tolkachev Y. A. (2025) Development of a Concept for a Comprehensive Critical Infrastructure Protection System Based on Modular Construction Technology. *Science and Technique*. 24 (6), 487–495. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2025-24-6-487-495> (in Russian)

Введение

Современные средства поражения обладают значительно большей точностью и разрушительной способностью в сравнении с традиционным оружием. Это обусловлено развитием систем наведения, навигации и автономного управления. В результате развития вооружения повышается уровень угрозы безопасности энергетических, транспортных и гражданских объектов [1]. Для решения данной проблемы требуется внедрение инновационных подходов к защите зданий и сооружений. При этом особенно важно обеспечить защиту объектов, уничтожение или потеря работоспособности которых может привести к серьезным негативным последствиям для государства и общества.

Традиционное монолитное или сборное железобетонное строительство, несмотря на высокую несущую способность, требует длительных сроков возведения, значительных трудозатрат и развитой логистики, что затрудняет его применение в отдаленных или новых регионах. Поэтому основополагающим элементом концепции комплексной защиты будет являться обоснование выбора модульной технологии строительства в качестве основного компонента для создания комплексной защиты новых объектов. Логистические ограничения и сжатые сроки реализации социально значимых проектов играют особую роль в развитии технологии быстровозводимого строительства.

Целью настоящего исследования является разработка концепции комплексной системы защиты объектов инфраструктуры, в которой модульное строительство выступает не просто как способ возведения здания, а как основа для интеграции пулестойких элементов, защитных ограждений от беспилотных летательных аппаратов и систем обеспечения жизнедеятельности в условиях чрезвычайных ситуаций. Новизна исследования заключается в системном подходе, где модульное здание рассматривается как основа для интеграции пассивных защитных систем, что позволяет создавать защищенные объекты в сжатые сроки.

Обоснование выбора технологии модульного строительства

Разрабатываемая концепция предназначена для объектов критически важной инфраструктуры, которые расположены в зонах потенциальных диверсионных действий или регионах с нестабильной обстановкой. Примерами таких объектов, являются:

- 1) мобильные госпитали и медицинские пункты (оказание медицинской помощи в зонах чрезвычайных ситуаций);
- 2) центры связи и узлы передачи данных (обеспечение функционирования телекоммуникационных сетей);
- 3) энергетические узлы, трансформаторные подстанции (поддержание энергоснабжения других объектов инфраструктуры);

4) объекты топливно-энергетического комплекса и теплоэнергетики (насосные и компрессорные станции, модульные установки подготовки продукции, котельные);

5) контрольно-пропускные пункты на границах;

6) склады для хранения материальных средств (хранилища горючих материалов, продовольствия, медикаментов).

В качестве основы для реализации таких объектов могут рассматриваться не только модульные здания, но и объекты с применением железобетона, а также каркасно-панельное строительство. Каждый из представленных вариантов обладает своими характеристиками и особенностями, которые необходимо рассматривать при возведении защищенных объектов.

Традиционное монолитное и сборное железобетонное строительство обладает высокой прочностью и долговечностью [2]. Однако основные недостатки данного метода становятся критичными в рассматриваемых условиях. Длительный цикл работ, сильная зависимость от погодных условий, необходимость в большом количестве квалифицированной рабочей силы и развитой логистике для доставки материалов делают эту технологию малоприменимой для оперативного развертывания инфраструктуры в новых или отдаленных регионах. Кроме того, внедрение и применение средств пассивной защиты в таких конструкциях является сложной задачей, которую необходимо выполнять непосредственно на строительной площадке, что может привести к снижению качества выполненных работ.

Каркасно-панельное строительство предполагает высокую скорость в сравнении с железобетонным строительством [3]. Это возможно за счет использования готовых стеновых и кровельных панелей. Однако значительный объем работ, касающихся монтажа здания, также выполняется на месте. Применение защитных элементов также носит преимущественно навесной характер и осуществляется на этапе монтажа, что не позволяет провести их полное и комплексное тестирование в составе конструкции.

Модульная технология строительства принципиально отличается от двух предыдущих подходов. Объект создается из пространствен-

ных блок-модулей, которые изготавливаются, оснащаются инженерными системами и внутренней отделкой в условиях высокотехнологичного производства. Такие модули доставляются на площадку в максимально собранном виде, где процесс возведения объекта сводится к их установке на подготовленное основание, стыковке и подключению к внешним сетям. Такой метод обеспечивает высокий контроль качества, так как практически все процессы происходят в заводских условиях. Именно эта особенность открывает уникальные возможности для заводской интеграции средств пассивной безопасности. Кроме того, для сокращения транспортных расходов блок-модули могут доставляться в разобранном виде. Компактность транспортируемых блок-модулей обеспечивает высокую логистическую эффективность и позволяет для доставки использовать железнодорожный, автомобильный, морской или даже воздушный транспорт [4].

Учитывая, что модульная технология является наиболее современным и развивающимся подходом, целесообразно детально рассмотреть основные преимущества, которые станут основой для сравнительного анализа и выбора конкретной технологии.

Одним из ключевых преимуществ модульного строительства является сокращение сроков возведения зданий и сооружений. Применение данной технологии позволяет сократить срок строительства на 30–50 % в сравнении с традиционными методами [5]. При этом строительные работы на площадке в основном сводятся к монтажу и стыковке модулей. Это минимизирует зависимость от погодных условий, а также сокращает количество рабочей силы, необходимое для выполнения работ на строительной площадке.

Производство модулей осуществляется в заводских условиях с применением высокотехнологичного оборудования и исключением влияния внешних климатических факторов на процесс производства работ. Данная особенность позволяет повысить качество итогового объекта. Высокая технологичность и строгий контроль за производством блок-модулей позволяют говорить об актуальности данного решения при интеграции модульного строительства в систему комплексной защиты зданий и сооружений.

Кроме того, модульные здания обладают высокой архитектурной и функциональной гибкостью. При необходимости изменения технических характеристик зданий, а именно увеличении численности рабочих или техническом перевооружении, возможно последовательное присоединение дополнительных блок-модулей без остановки эксплуатации основного корпуса [6]. Такой подход позволяет развивать инфраструктуру по мере необходимости. Это особенно важно для новых регионов Российской Федерации.

Важным преимуществом модульной технологии строительства является сравнительно невысокая стоимость модульного здания с готовой внутренней отделкой. Стоимость квадратного метра модульного здания с устройством внутренней отделки и установкой инженерных систем в среднем на 15 % ниже в сравнении с объектами капитального строительства [7]. Заводское изготовление за счет применения стандартизации и унификации дает возможность снизить затраты на этапе производства блок-модулей. Тщательная проработка каждого элемента также позволяет минимизировать количество строительных отходов, что отражается на итоговой себестоимости здания. Кроме того, сокращение сроков строительства позволяет снизить затраты на логистику, аренду техники и оплату труда рабочих, а облегченные металлические конструкции позволяют свести к минимуму земляные работы.

Современные модульные здания могут включать в себя все необходимые инженерные системы, такие как водоснабжение, отопление,

электроснабжение, кондиционирование. В отличие от капитального строительства, где инженерные системы монтируются уже после возведения несущих конструкций, модульный подход позволяет проектировать здание таким образом, чтобы все элементы были заранее согласованы между собой на этапе BIM-моделирования [8].

При монтаже инженерных сетей применяются унифицированные, изготовленные в заводских условиях сборно-разборные элементы с быстроразъемными соединениями. Технология модульного строительства подразумевает тестирование всех инженерных систем на заводе-изготовителе. Комплексная проверка работоспособности всех систем, включая имитацию аварийных режимов (отключение питания, срабатывание датчиков проникновения), позволяет гарантировать полную функциональность здания сразу после монтажа [9].

Для наглядного представления основных характеристик был проведен сравнительный анализ по критериям, которые являются ключевыми при создании защищенных объектов. Результаты сравнения представлены в табл. 1.

Благодаря совокупности своих преимуществ модульная технология строительства может служить основой для создания системы комплексной защиты объектов. Однако для выполнения этой функции модульное здание должно соответствовать ряду специфических требований, которые не являются обязательными для стандартной модульной технологии. Эти требования обусловлены необходимостью обеспечения устойчивости при атаках высокоточным оружием.

Таблица 1

Сравнительный анализ технологий строительства для объектов критической инфраструктуры
Comparative analysis of construction technologies for critical infrastructure facilities

Критерий	Модульное строительство	Железобетонное строительство	Каркасно-панельное строительство
Скорость строительства	0,35–0,45 дней/м ²	0,75–1 дней/м ²	0,5–0,7 дней/м ²
Срок службы	30 лет	125 лет	50 лет
Интеграция элементов пассивной защиты	На этапе производства	На строительной площадке	На строительной площадке
Средний диапазон себестоимости строительства	45–55 тыс. руб./м ²	65–80 тыс. руб./м ²	50–70 тыс. руб./м ²
Процент заводской готовности	80–95 %	0–10 %	40–50 %

На этапе проектирования и производства модульного здания необходимо предусмотреть резервные источники питания, а также системы видеонаблюдения, тревожной сигнализации, радиационного и химического контроля в соответствии с СП 132.13330.2011. Такое решение обеспечит антитеррористическую защищенность модульных объектов и позволит им функционировать в условиях чрезвычайных ситуаций.

Модульные здания должны быть выполнены из негорючих материалов, что позволит достичь класса конструктивной пожарной опасности С0, который означает высокую степень безопасности сооружений. Все стыки между блок-модулями должны быть запроектированы и смонтированы с возможностью создания максимальной герметичности. Несущие металлические конструкции выполняются с применением конструктивной огнезащиты, которая позволит достичь II степени огнестойкости здания. Корректность принятых решений по обеспечению пределов огнестойкости и классов пожарной опасности конструкций модульных зданий должна быть подтверждена огневыми испытаниями [10]. Данные мероприятия позволят препятствовать распространению дыма, огня или токсичных веществ между отдельными блок-модулями.

В узлах стыковки блок-модулей устанавливаются резиновые энергопоглощающие вставки, которые снизят давление на несущие элементы модульного здания при взрывной нагрузке.

Средства специализированной защиты

Для обеспечения комплексной защиты новых объектов необходимо предусмотреть средства специализированной защиты. Для этого предлагается использовать пассивные средства защиты. Одной из технологий пассивной защиты является применение бронированных панелей, которые позволяют защитить людей и оборудование внутри здания от пуль, взрывов и других агрессивных воздействий.

В настоящее время рынок бронированных панелей начинает развиваться. Предложенные решения различаются по своим характеристикам и областям применения. Процесс испытания и определения класса пулестойкости регламентируется ГОСТ Р 51112–97.

По материалу можно выделить два основных варианта бронированных панелей: метал-

лические и бетонно-залитые. Металлические панели изготавливаются из нескольких слоев высокопрочной стали с созданием прослойки между ними, превышающей длину самой пули [11]. Бетонно-залитые также предполагают устройство панелей с металлическим каркасом с последующим заполнением их прочным бетоном.

Современные разработки гибридных бронированных панелей сочетают в себе сталь, керамику и арамидные композиты. Наружный слой выполняется из высокотвердой керамики, которая разрушает сердечник пули. Средний слой изготавливается из арамидного волокна, который поглощает остаточную энергию. Внутренний слой выполняется из высокопрочной стали, которая удерживает осколки [12]. Такие конструкции стоят значительно дороже своих конкурентов и считаются экономически нецелесообразными.

Для модульных зданий наиболее эффективным решением является применение металлических многослойных бронированных панелей. Для реализации пулестойких модульных зданий предложены два варианта исполнения бронированных панелей.

Первый вариант подразумевает устройство стен модульного здания из произведенных заранее пулестойких панелей. Бронированная панель становится частью ограждающей конструкции или полностью выполняет ее роль. Такое решение требует тщательного теплотехнического расчета и проработки варианта совмещения бронированных панелей со стеновыми сэндвич-панелями. Однако такое решение затрудняет возможность замены поврежденных элементов.

Второй вариант исполнения – навесная защитная система. При таком варианте применяются бронированные панели снаружи модульного здания на заранее установленную подсистему, что позволяет легко заменить их в случае повреждения. Недостатком является появление дополнительных монтажных работ на объекте, а также увеличение габаритов самого блок-модуля.

При изготовлении бронированных панелей для модульных зданий по одному из предложенных выше вариантов должна функционировать система мероприятий и специальных методов по контролю качества. Окончательное подтверждение надежности защитной пулестойкой продукции обеспечивается системой

испытаний в испытательных центрах и лабораториях [13].

Особое внимание при проектировании пулестойких модульных зданий уделяется пулестойким бронированным дверям, которые являются уязвимыми элементами периметра [14]. Дверные блоки также изготавливаются из многослойных композитных материалов. Дверная коробка сконструирована таким способом, чтоб исключить ее вырывание при взрыве. Все пулестойкие бронированные двери проходят сертификацию по тому же стандарту, что и бронированные панели.

Не менее важным элементом являются пулестойкие бронированные окна, которые совмещают в себе функции естественного освещения и защиты. Такие окна изготавливаются на основе многослойного ламинированного стекла. Толщина стеклопакета может варьироваться от 25 до 60 мм в зависимости от требуемого класса защиты. Оконные рамы изготавливаются из усиленного стального профиля с внутренними ребрами жесткости.

Монтаж окон и дверей в модульных зданиях должен производиться в заводских условиях. Это позволит гарантировать точное размещение и надежную фиксацию в проеме без последующей деформации при транспортировке и монтаже.

При проектировании пулестойких конструкций, интегрированных в комплексную систему защиты, предлагается ориентироваться на класс пулестойкости Бр4. Данный класс обеспечивает защиту от пуль пистолетов и автоматов калибра до 7,62 мм, что соответствует типичному вооружению, применяемому при террористических актах и диверсиях. При этом класс Бр4 имеет оптимальный баланс между уровнем защиты, массой конструкций и экономическими затратами, что особенно важно при модульном строительстве, где вес конструкции имеет ключевое значение.

Следующим этапом создания комплексной защиты зданий и сооружений является обеспечение безопасности при угрозе беспилотных летательных аппаратов.

Защитные ограждающие конструкции представляют собой специализированные защитные сооружения, которые предназначены для перехвата и нейтрализации угрозы, исходящей от беспилотных летательных аппаратов. Основные

угрозы, которые подразумевает атака беспилотных летательных аппаратов: сброс взрывчатых веществ, а также прямое столкновение с дронами, которые начинены взрывчатым веществом. В настоящее время при реализации террористических действий преобладает использование тяжелых типов беспилотных летательных аппаратов по типу «Лютый», который способен нести до 50 кг взрывчатого вещества и развивать скорость до 200 км/ч. Такой вес и большое количество взрывного вещества позволяет сделать вывод, что эффективность защитных ограждающих конструкций определяется не только прочностью защитной сетки, но и целостностью всей системы, включая опоры и крепления [15].

Данная конструкция должна быть запроектирована с учетом действующих норм, а именно СП 542.1325800.2024, который определяет основные конструктивные решения для защитных ограждающих конструкций от беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В соответствии с данным нормативным документом предполагаются 4 уровня защиты объекта. Предложенная в работе концепция подразумевает обеспечение 2-го уровня защиты объектов от БПЛА. Данное решение обосновано сложностью доставки на объект большого количества противоскольных элементов, которые должны устанавливаться по всему периметру защитных ограждающих конструкций 1-го уровня защиты. Элементы конструктивных решений для обеспечения уровней защиты представлены в табл. 2.

В соответствии с действующей нормативной документацией можно выделить следующие основные элементы защитных ограждающих конструкций 2-го уровня защиты: защитные сетки, опоры, ограждения из стальных тросов и растяжки.

Для применения защитных ограждающих конструкций, как элемента комплексной пассивной защиты модульных зданий, необходимо предусмотреть внешний контур на независимых опорах. Несмотря на то что СП 542.1325800.2024 предполагает применение зависимых опор, сами модульные конструкции, не рассчитаны на восприятие динамических ударных импульсов, возникающих при детонации взрывных веществ. Передача таких нагрузок напрямую на каркас модуля может привести к локальным разрушениям здания [16].

Таблица 2

Варианты защиты в зависимости от уровня защиты объекта

Protection options depending on the protection level of the object

Элементы конструктивных решений защитных ограждающих конструкций	Уровень защиты объекта от БПЛА			
	1-й	2-й	3-й	4-й
Защитные сетки	+	+	+	+
Дополнительные защитные сетки	+	+	+	–
Ограждения из стальных тросов	+	+	+	+
Опоры	+	+	+	+
Растяжки	+	+	+	+
Тюфяки/маты	+	+	–	–
Противоосколочные стенки	+	–	–	–

Поэтому для модульных зданий предложена следующая концепция защитных ограждающих конструкций. Внутренняя сетка выполняется на зависимых опорных конструкциях, которые устанавливаются непосредственно на каркас самого модульного здания. После установки опор устанавливается система стальных тросов и растяжек, поверх которой уже монтируется внутренний контур защитной сетки. Внутренний контур предназначен только для улавливания осколков после детонации взрывных веществ. Наружный контур устанавливается на независимых опорах, которые выполняются из металлических составных сквозных колонн пирамидальной формы. Между наружными опорными конструкциями устанавливается система стальных тросов и растяжек. На завершающем этапе монтируется защитная сетка внешнего контура.

Защитные сетки являются основными элементами для улавливания беспилотных летательных аппаратов и их осколков. Несмотря на то что металлические сетки обладают высокой

стойкостью к термическому и химическому воздействию, они имеют слишком большой вес и неудобны в монтаже. Поэтому в качестве защитных сеток для комплексной пассивной защиты модульных зданий предлагается применять сетки на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена с дополнительной защитой от ультрафиолетового излучения и размером ячейки не более 50×50 мм.

В результате проведенного анализа была сформирована концепция комплексной системы защиты критически важных объектов инфраструктуры, которая представлена на рис. 1.

Экономическая целесообразность применения комплексной системы защиты для объектов критически важной инфраструктуры обусловлена категорическим запретом на их выход из строя. Прямые и косвенные издержки от их разрушения (материальный ущерб, гибель людей, последствия для отраслей экономики) значительно превосходят затраты на внедрение пассивных мер защиты.

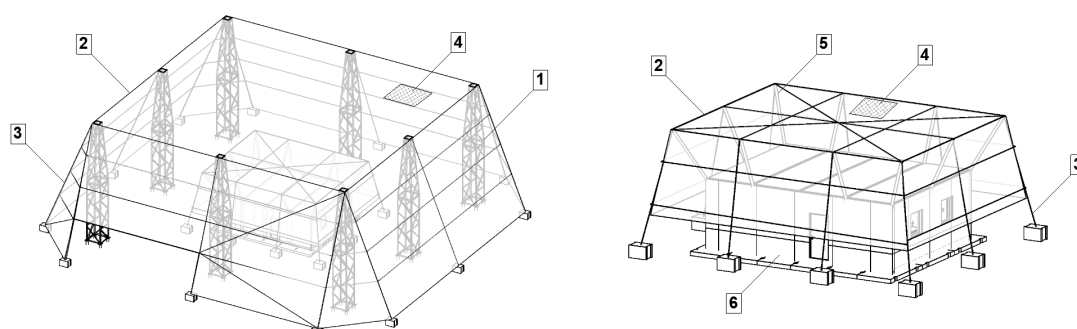


Рис. 1. Схема комплексной системы защиты: 1 – независимый каркас из составных сквозных колонн; 2 – ограждения из стальных тросов с системой натяжения; 3 – растяжки из стальных тросов с системой натяжения; 4 – защитная сетка из сверхвысокомолекулярного полиэтилена; 5 – зависимые опорные конструкции; 6 – навесные бронированные панели

Fig. 1. Diagram of the integrated passive protection system: 1 – independent frame made of composite through columns; 2 – fences made of steel cables with a tension system; 3 – extensions made of steel cables with a tension system; 4 – protective mesh made of ultra-high molecular weight polyethylene; 5 – dependent support structures; 6 – mounted armored panels

Таким образом, основой для внедрения комплексной системы защиты является минимизация рисков.

Перспективным направлением развития предложенной концепции является интеграция в конструкцию защитных ограждающих конструкций сенсорных элементов, таких как датчики акустические, сенсоры и приемники электромагнитного излучения. Предложенная система позволит фиксировать признаки приближения беспилотных летательных аппаратов.

Для обеспечения надежности все защитные элементы и элементы самого модульного здания должны проходить сертификацию в соответствии с действующими нормативными документами, а также требованиями Минстроя и МЧС РФ. Также при проектировании должны учитываться региональные особенности: климатические нагрузки, сейсмичность и уровень угрозы.

ВЫВОДЫ

1. Модульное строительство подтвердило свою эффективность в качестве основы для создания защищенных объектов критической инфраструктуры. Ключевые преимущества модульного строительства (высокая скорость возведения, экономическая эффективность, заводское качество и гибкость) делают его оптимальным решением для быстрого развертывания инфраструктуры в условиях повышенных рисков и сжатых сроков.

2. Для обеспечения пассивной баллистической защиты модульных зданий наиболее рациональным является применение навесных металлических многослойных бронированных панелей класса пулестойкости Бр4. Принятый класс является оптимальным по соотношению уровня защиты, массы конструкции и затрат на производство.

3. Разработана концепция защитных ограждающих конструкций от беспилотных летательных аппаратов для модульных зданий. Предложена двухконтурная система, сочетающая независимые опоры для восприятия ударных нагрузок и зависимые опоры для улавливания осколков.

4. Сформирована концепция комплексной системы защиты объектов критической инфраструктуры, которая объединяет три ключевых компонента: собственно модульное здание с инженерными системами жизнеобеспечения и мониторинга, средства баллистической защиты и защитные ограждающие конструкции от беспилотных летательных аппаратов. Данная

комплексная система способна противостоять как прямым атакам высокоточного оружия, так и вторичным угрозам.

5. Для успешной практической реализации концепции необходима разработка специализированных отраслевых стандартов, регламентирующих проектирование, производство и сертификацию модульных зданий с интегрированными системами защиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Викторенкова, С. В. Защита критически важных объектов инфраструктуры Российской Федерации от угроз терроризма / С. В. Викторенкова // Нацбезопасность. 2022. № 2 (4). С. 4–6.
2. Фаликман, В. Р. Нормативные сроки службы бетонных и железобетонных конструкций и принципы их проектирования по параметрам долговечности / В. Р. Фаликман, В. Ф. Степанова // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 6. С. 13–22. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2019.06.13-22>.
3. Елесин, М. А. Малоэтажное каркасно-панельное домостроение в условиях Крайнего Севера / М. А. Елесин, Д. А. Майорова, Е. П. Басарева // Культура. Наука. Производство. 2021. № 7. С. 11–19. https://doi.org/10.52978/26187701_2021_7_11.
4. Грахов, В. П. Методика оценки уровня технологичности модульных зданий / В. П. Грахов, Ю. А. Толкачев // ЦИТИСЭ. 2023. № 4 (38). С. 200–208. <https://doi.org/10.15350/2409-7616.2023.4.19>.
5. Иванов, Ф. Я. Анализ климатических условий и производств в контексте модульного строительства в России и новых регионах / Ф. Я. Иванов // Вестник науки. 2025. Т. 1, № 5 (86). С. 799–808.
6. Широков, В. С. Конструктивные особенности модульных зданий / В. С. Широков // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14, № 3. <https://doi.org/10.15862/03savn322>.
7. Нидзий, А. А. Организационно-экономический механизм модульного строительства и его эффективность в целях повышения производительности труда при возведении индивидуальных жилых домов / А. А. Нидзий, С. В. Иванов // Степановские чтения: сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. М., 2025. С. 193–199.
8. Толкачев, Ю. А. Особенности этапов предпроектной и проектной подготовки при реализации модульных объектов / Ю. А. Толкачев // Современное строительство и архитектура. 2023. № 6 (37). <https://doi.org/10.18454/mca.2023.37.1>.
9. Грахов, В. П. Перспективы применения модульного строительства при организации пунктов временного размещения / В. П. Грахов, Ю. А. Толкачев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2022. № 11. С. 49–63. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-11-49-63>.
10. Гасиев, А. А. Особенности обеспечения пожарной безопасности при проектировании строительных конструкций модульных зданий / А. А. Гасиев, В. В. Павлов, А. В. Гомозов // Пожаровзрывобезопасность. 2023. Т. 32, № 4. С. 42–57. <https://doi.org/10.22227/0869-7493.2023.32.04.42-57>.
11. Зузов, В. Н. Исследование возможности снижения массы бронепанелей путем применения комплексных трехслойных пластин из стальных сплавов в кабинах бронетранспортеров / В. Н. Зузов, Н. Шаш // Известия

- высших учебных заведений. Машиностроение. 2018. № 4 (697). С. 42–48. <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2018-4-42-48>.
12. Гаршин, А. П. Ударопрочные материалы на основе технической керамики: достижения и перспективы повышения их баллистической эффективности / А. П. Гаршин, В. И. Кулик, А. С. Нилов // Новые огнеупоры. 2016. № 4. С. 53–67. <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2016-4-53-67>.
 13. Радостев, Р. В. Лёгкие керамические композитные бронесистемы / Р. В. Радостев, И. Л. Шайдуллин, А. А. Смелик // Технологии энергообеспечения. Аппараты и машины жизнеобеспечения: сб. ст. II Всерос. науч.-техн. конф., Анапа, 17 сент. 2020 г. Анапа: Федеральное государственное автономное учреждение «Военный инновационный технополис “ЭРА”», 2020. Ч. 1. С. 102–113.
 14. Алексенцева, С. Е. Надежность пулестойких стационарных защитных сооружений / С. Е. Алексенцева // Наукосфера. 2021. № 7–2. С. 168–171.
 15. Макаренко, С. И. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Ч. 5: Защитные ограждающие конструкции / С. И. Макаренко, А. А. Тхакахов // Системы управления, связи и безопасности. 2025. № 3. С. 121–158. <https://doi.org/10.24412/2410-9916-2025-3-121-158>.
 16. Анализ напряженно-деформированного состояния быстровозводимого модульного здания / И. С. Холопов, В. С. Широков, А. В. Соловьев, Ю. Д. Макаров // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 6. С. 15–19.
- Поступила 19.08.2025
Подписана в печать 21.10.2025
Опубликована онлайн 28.11.2025
- ## REFERENCES
1. Viktorenkova S. V. (2022) Protection of Critical Infrastructure Facilities of the Russian Federation from the Threats of Terrorism. *Nachezopasnost'* [National Security], (2), 4–6 (in Russian).
 2. Falikman V. R., Stepanova V. F. (2019) Normative Service Life Of Concrete And Reinforced Concrete Structures And Principles Of Their Design Based On Durability Parameters. *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering*, (6), 13–22. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2019.06.13-22> (in Russian).
 3. Elesin M. A., Mayorova D. A., Basareva E. P. (2021) Low-Rise Frame-Panel Housing Construction in the Far North. *Kultura. Nauka. Proizvodstvo* [Culture. Science. Production.], (7), 11–19. https://doi.org/10.52978/26187701_2021_7_11 (in Russian).
 4. Grakhov V. P., Tolkachev Yu. A. (2023) Methodology for Assessing the Level of Manufacturability of Modular Buildings. *CITISE* [Centre of Innovative Technologies and Social Expertise], (4), 200–208. <https://doi.org/10.15350/2409-7616.2023.4.19> (in Russian).
 5. Ivanov F. Ya. (2025) Analysis of Climatic Conditions and Production in the Context of Modular Construction in Russia and New Regions. *Vestnik Nauki* [Bulletin of Science], 1 (5), 799–808 (in Russian).
 6. Shirokov V. (2022) Design features of modular buildings. *The Eurasian Scientific Journal*, 14 (3). <https://doi.org/10.15862/03savn322> (in Russian).
 7. Nidziy A. A., Ivanov S. V. (2025) Organizational and Economic Mechanism of Modular Construction and Its Effectiveness in order to Increase Labor Productivity in the Construction of Individual Residential Buildings. *Stepanovskie chteniya: sb. tr. Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Stepanov Readings: Collection of Works of the All-Russian Scientific Practical Conference]. Moscow, 193–199 (in Russian).
 8. Tolkachev Yu. A. (2023) Specifics of the Pre-Design and Project Development Stages in the Implementation of Modular Objects. *Sovremennoe Stroitel'stvo i Arkhitektura = Modern Construction and Architecture*, (6). <https://doi.org/10.18454/mca.2023.37.1> (in Russian).
 9. Grakhov V., Tolkachev Yu (2022) Prospects for the Use of Modular Construction in the Organization of Temporary Accommodation Centers. *Vestnik Belgorodskogo Gosudarstvennogo Tekhnologicheskogo Universiteta im. V. G. Shukhova* [Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov], (11), 49–63. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-7-11-49-63> (in Russian).
 10. Gasiev A. A., Pavlov V. V., Gomozev A. V. (2023) Fire safety Considerations in the Design of Modular Building Structures. *Pozharovzryvobezopasnost = Fire and Explosion Safety*, 32 (4), 42–57. <https://doi.org/10.22227/0869-7493.2023.32.04.42-57> (in Russian).
 11. Zuzov V. N., Shash N. (2018) A Study of the Possibility of Reducing the Weight of Armored Plating Using Complex Three-Layer Alloy Steel Plates for Armored Vehicle Cabins. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Mashinostroenie = Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, (4), 42–48. <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2018-4-42-48> (in Russian).
 12. Garshin A. P., Kulik V. I., Nilov A. S. (2016) Shock-Resistant Materials Based on Commercial Grade Ceramic: Achievements and Prospects for Improving Their Ballistic Efficiency. *Refractories and Industrial Ceramics*, 57 (2), 207–219. <https://doi.org/10.1007/s11148-016-9955-0>.
 13. Radostev R. V., Shaydullin I. L., Smelik A. A. (2020) Lightweight Ceramic Composite Armor Systems. *Tekhnologii energoobespecheniya. Apparaty i mashiny zhizneobespecheniya: sb. st. II Vseros. nauch.-tekhn. konf., Анапа, 17 сент. 2020 г. Ч. 1* [Energy Supply Technologies. Life Support Devices and Machines: Collection of Articles from the 2nd All-Russian Scientific and technical Conference, Anapa, September 17, 2020. Part 1]. Анапа, Federal State Autonomous Institution Military Innovation Technopolis “ERA”, 102–113 (in Russian).
 14. Aleksentseva S. E. (2021) Reliability of Bullet-Proof Stationary Protective Facilities. *Naukosfera* [Naukosphere], (7–2), 168–171 (in Russian).
 15. Makarenko S. I., Tkachakhov A. A. (2025) Analysis of Means and Methods of Countering Unmanned Aerial Vehicles. Part 5. Protective Enclosing Structures. *Sistemy Upravleniya, Svyazi i Bezopasnosti = Systems of Control, Communication and Security*, (3), 121–158. <https://doi.org/10.24412/2410-9916-2025-3-121-158> (in Russian).
 16. Kholopov I. S., Shirokov V. S., Solovyov A. V., Makarov Yu. D. (2015) Analysis of the Stress-Strain State of a Prefabricated Modular Building. *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering*, (6), 15–19 (in Russian).

Received: 19.08.2025

Accepted: 21.10.2025

Published online: 28.11.2025