



Теоретическое обоснование расчетной модели защитного каркаса бронетанкового вооружения и техники от беспилотного летательного аппарата

А.К. Тогусов^{1*} , **Т.А. Курмангажинов²** , **Е.С. Сеитов³** ,
М.Д. Алимжанов⁴ , **А.Б. Калиев⁴** 

¹*Департамент военного образования и науки, Министерство обороны Республики Казахстан, Астана, Казахстан*

²*АО «НК«Қазақстан Ғарыш сапары», Астана, Казахстан*

³*Национальный университет обороны Республики Казахстан, Астана, Казахстан*

⁴*Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан*

E mail: ¹tak_70@mail.ru., ²Timas_1993@mail.ru, ³Seitovyerkin@qmail.com, ⁴murat2151@mail.ru, ⁴adilbekk@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема повышения защищенности бронетанкового вооружения от поражающих средств, применяемых с использованием беспилотных летательных аппаратов. Проанализированы современные подходы к пассивной защите верхней проекции боевых машин, основанные на применении каркасных, решетчатых и экранных конструкций. Показано, что данные средства позволяют частично компенсировать уязвимость крыши корпуса и башни, которая в условиях современных вооруженных конфликтов является одной из наиболее вероятных зон поражения. Особое внимание уделено разработке и обоснованию расчетной модели защитного каркаса, предназначенного для снижения эффективности боеприпасов, доставляемых беспилотными летательными аппаратами. Представлена конструктивная схема предлагаемого устройства, получившая патентную защиту, и выполнен ее теоретический анализ с использованием положений сопротивления материалов. Проведено исследование напряженно-деформированного состояния основных элементов каркаса при воздействии сосредоточенных и распределенных нагрузок, что позволило определить допустимые параметры прочности и жесткости конструкции.

Ключевые слова: конструкция, каркас, решетчатые экраны, модель, рабица, элемент.

Введение

Актуальность темы данной статьи обусловлена резким ростом угроз со стороны беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в современных вооружённых конфликтах и их высокой эффективностью при поражении бронетанкового вооружения (БТВ), прежде всего при ударах по верхней проекции. Практика боевого применения показывает, что традиционные средства защиты БТВ не обеспечивают надежного противодействия малогабаритным БПЛА и сбрасываемым ими боеприпасам, что приводит к значительным потерям техники. В этих условиях особое значение приобретают пассивные механические средства защиты, отличающиеся простотой конструкции, ремонтпригодностью и возможностью оперативного внедрения в войсках.

В настоящее время для защиты БТВ от БПЛА применяются различные типы таких устройств, характеризующиеся значительным конструктивным разнообразием. Наиболее широкое распространение получили пассивные механические защитные конструкции каркасного, зонтичного, козырькового и решетчато-бронированного типов, экраны которых выполняются в виде сетчатых, цепных и комбинированных элементов [1–2]. Примеры указанных конструктивных решений приведены на рисунке 1. Вместе с тем существующие каркасные и сетчатые конструкции во многих случаях разрабатываются эмпирически, без строгого инженерного обоснования их несущей способности и устойчивости к эксплуатационным нагрузкам. Это определяет необходимость создания расчетно обоснованных моделей защитных каркасов и разработки методик их проектирования.

Таким образом, исследование, направленное на теоретическое обоснование расчетной модели защитного каркаса БТВ от воздействия БПЛА, является актуальным как с научной точки зрения, так и с позиций практического повышения живучести бронетехники в условиях современных боевых действий.

Научная новизна работы состоит в формировании расчетно-аналитического подхода к проектированию защитных каркасных конструкций для верхней проекции бронетанковой техники, обеспечивающего количественную оценку их несущей способности и устойчивости при воздействии нагрузок, характерных для поражающих средств БПЛА.

Целью исследования является теоретическое обоснование расчетной модели защитного каркаса и определение рациональных параметров его несущих элементов на основе методов сопротивления материалов.

Методология

Методологической основой исследования является системный подход к анализу средств пассивной защиты БТВ от воздействий БПЛА [3–5]. В работе использованы методы теоретического анализа и синтеза, позволяющие обобщить существующие конструктивные решения защитных каркасных устройств и выявить их основные функциональные особенности.

Для обоснования расчетной модели защитного каркаса применялись методы сопротивления материалов и строительной механики, в частности методы расчета элементов конструкций на сжатие, изгиб и устойчивость. Расчет напряженно-деформированного состояния вертикальных и горизонтальных стержней выполнялся на основе классических зависимостей теории упругости с введением упрощающих допущений, обеспечивающих возможность аналитической оценки прочности и жесткости конструкции [6–9].

Исходные данные для расчетов принимались с учетом характеристик типовых конструкционных материалов и параметров сетчатых защитных экранов, используемых в практике защиты бронетехники. Геометрические характеристики поперечных сечений элементов каркаса определялись по нормативным сортаментам прокатных профилей. Нагрузки моделировались в виде сосредоточенных и равномерно распределенных сил, соответствующих воздействию боеприпасов и элементов конструкции.

Дополнительно использовались методы сравнительного анализа, позволившие сопоставить расчетные результаты с известными техническими решениями и оценить целесообразность применения предложенной модели защитного каркаса. Полученные теоретические результаты рассматриваются как исходная база для последующих численных расчетов и экспериментальной проверки несущей способности конструкции.



Рисунок 1. Механические защитные устройства БТВ от БПЛА

Результаты и Обсуждение

В рамках реализуемого методологического подхода в качестве объекта исследования выбрана конструкция защитного каркаса с сетчатым экраном, предназначенная для противодействия воздействию боеприпасов, сбрасываемых с БПЛА. Выбор данного типа защитного устройства обусловлен его широким практическим применением, простотой конструктивного исполнения и возможностью аналитического описания напряженно-деформированного состояния его элементов. В качестве защитного экрана принят сетчатый материал типа «рабица», механические характеристики которого позволяют рассматривать его как элемент, участвующий в перераспределении внешней нагрузки и снижающий воздействие на несущие элементы каркаса.

Защитный экран в виде полотна сетки «рабица» частично покрывает конструкцию каркасного типа. Сетка «рабица» представляет из себя конструкцию из изогнутых проволок, в соответствии со стандартом ТУ 14-178-287-2003. Размер ячейки равен 5×5 см. Разрывная нагрузка проволоки достигает (290÷540) Н/мм². Разрывная нагрузка сетчатого полотна составляет от 8 кН и выше. Вес 1 м² полотна равен 1,5 кг, при диаметре прутка 2 мм [2]. Предварительные оценочные расчёты на прочность и выбор защитного экрана в виде сетки «рабица» показали достаточную приемлемость такого решения в подходах создания модели защитного каркаса.

Расчетная схема модели защитного каркаса представлена на рисунке 2. (сетка «рабица» – условно не показана).

Основными несущими элементами защитного устройства каркасного типа являются вертикальные и горизонтальные стержни, поперечные сечения которых имеют различную конфигурацию. Указанные стержни в процессе работы находятся в наиболее

неблагоприятных условиях нагружения и их напряженно-деформированное состояние требует изучения для определения несущей способности конструкции. В этой связи рассмотрим расчетную модель защитного каркаса БТВ от БПЛА. На указанную конструкцию защитного устройства получен патент на полезную модель [10]. Конструкция позволяет вращаться ей с башней, что не создает ограничений повороту пушки. Основным преимуществом устройства является простота конструкции, возможность быстрой сборки и разборки с целью замены поврежденных элементов в боевых условиях.

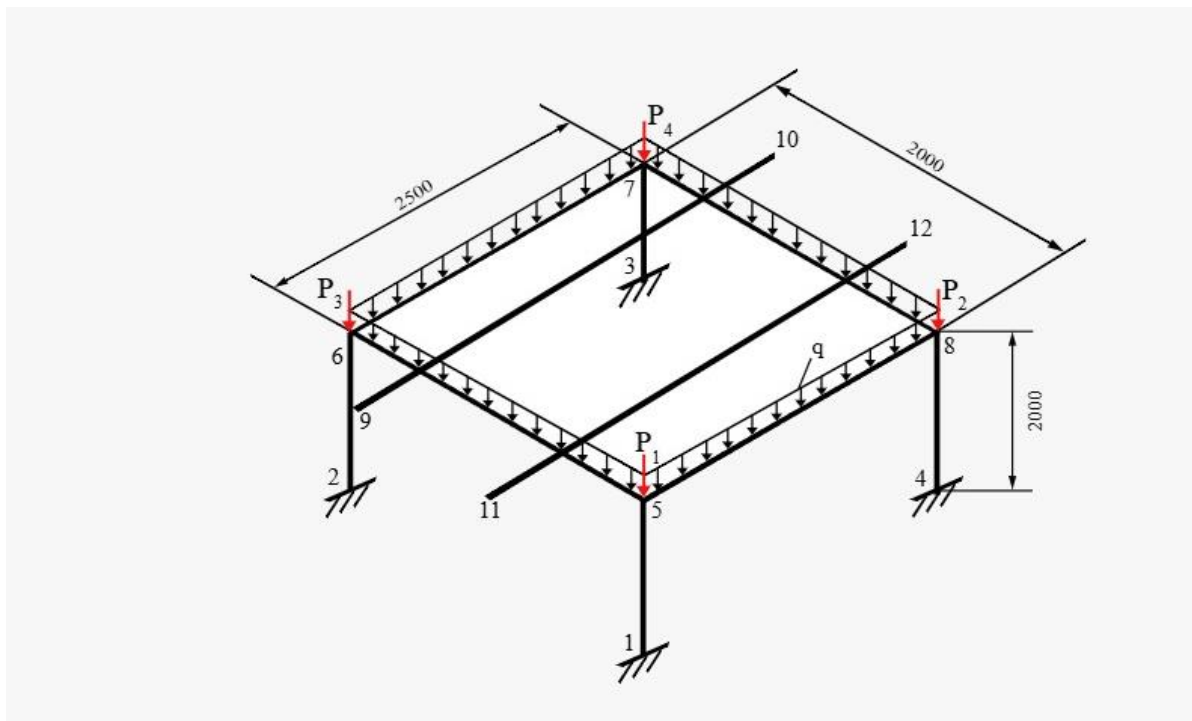


Рисунок 2. Расчетная схема модели защитного каркаса

Предварительный анализ нагрузок элементов конструкции показал, что основное действие внешних нагрузок воспринимаются вертикальными и горизонтальными стержнями. В результате целесообразно рассмотреть напряженно-деформированное состояние вертикальных и горизонтальных стержней отдельно и оценить размеры их поперечных сечений в смысле прочности. Введя упрощающие предположения следует считать, что вертикальные элементы 1–5; 2–6; 3–7; 4–8 нагружены соответственно сосредоточенными силами P_1 , P_2 , P_3 , P_4 . Горизонтальные элементы 5–6; 6–7; 7–8; 5–8 нагружены распределенной нагрузкой интенсивностью q .

Начнем с рассмотрения вертикального стержня 1–5, для остальных вертикальных стержней подбор сечений осуществляется аналогично. Расчетная схема сжатого вертикального стержня 1–5 в виде равнобокого уголка 5х5 изображена на рисунке 3.

За исходные данные примем следующие параметры вертикального стержня в виде уголка 8х8. Материал уголка Ст. 3; горячекатанная длина $l = 2$ м; вертикальная нагрузка составляет

$P_1 = 140$ кН; допускаемое напряжение $[\sigma] = 160$ МПа; модуль упругости материала

$$E = 2 \times 10^4 \text{ кН/см}^2.$$

Определим размеры поперечного сечения вертикального стержня 1–5, критическую силу $P_{кр}$ и коэффициент запаса устойчивости n_y . Предположим, нижний конец стержня 1–5 зашкелен, верхний конец шарнирно оперт, как показано на рисунке 3. Используя табличные данные [11], выпишем геометрические характеристики поперечного сечения: Площадь поперечного сечения $A = 10,8 \text{ см}^2$; момент инерции сечения $I_x = 65,3 \text{ см}^4$; радиус инерции сечения $i_x = 2,45 \text{ см}$; гибкость вертикального стержня $\lambda = \mu \cdot L / i_x$, где μ – коэффициент приведенной длины, так как нижний конец стержня зашкелен, а верхний шарнирно оперт, то примем $\mu = 0,7$ [11].

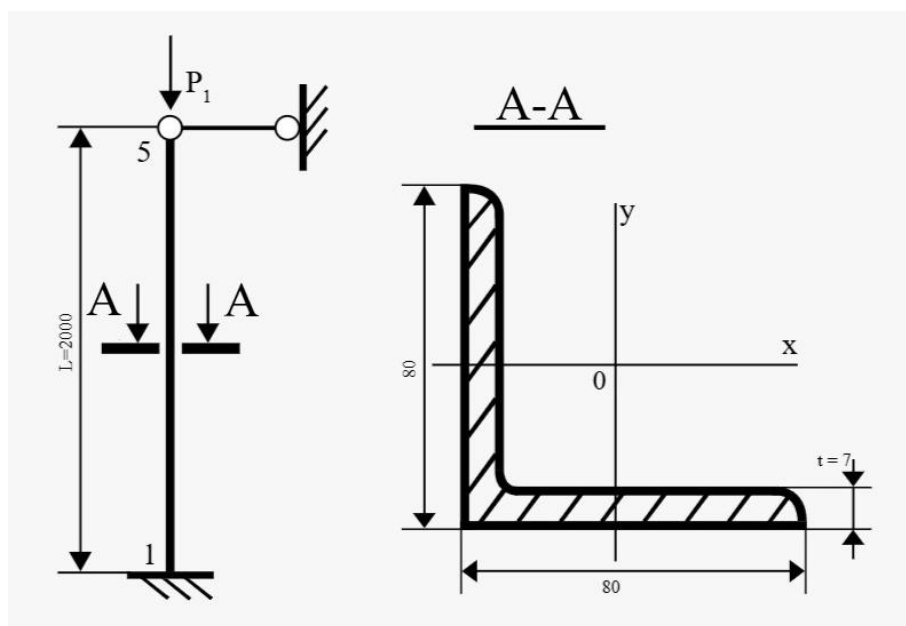


Рисунок 3. Расчетная схема сжатого вертикального стержня 1-5

Используя условие устойчивости, имеем:

$$\sigma = P / A \leq [\sigma] \cdot \varphi, \quad (1)$$

где φ – коэффициент продольного изгиба, зависит от гибкости.

$$\text{Найдем } \lambda = \frac{0,7 \cdot 200}{2,45} = 58.$$

Для данного значения λ , примем $\varphi = 0,805$ [11].

Из (1) определим площадь поперечного сечения A стержня:

$$A = \frac{P_1}{\varphi \cdot [\sigma]} \quad (2)$$

$$A = \frac{140}{0,805 \cdot 16} = 10,8 \text{ см}^2.$$

Оценить допускаемую вертикальную нагрузку можно из условия устойчивости:

$$P_1 = [\sigma] \cdot A \cdot \varphi, \quad (3)$$

$$P_1 = 16 \cdot 10,8 \cdot 0,805 = 140 \text{ кН.}$$

Полученное допускаемое значение вертикальной нагрузки следует считать соответствующим условию устойчивости

Критическую нагрузку $P_{кр}$ и коэффициент запаса устойчивости n_y найдем как [11]:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(\mu \cdot l)^2}; \quad (4)$$

$$n_y = \frac{P_{кр}}{P_1}; \quad (5)$$

$$P_{кр} = \frac{3,14 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 65,3}{(0,7 \cdot 200)^2} = \frac{4100840}{19600} = 210 \text{ кН}$$

$$n_y = \frac{210}{140} = 1,5$$

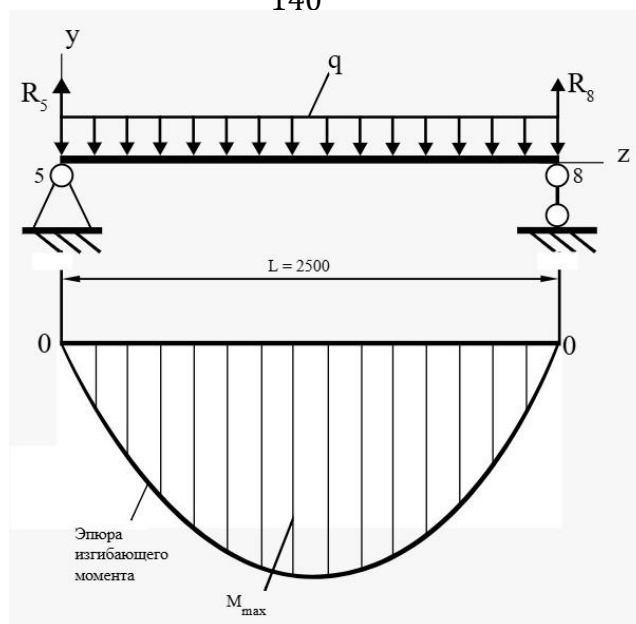


Рисунок 4. Расчетная схема горизонтального стержня 5-8 и эпюра изгибающего момента

Полученные оценочные значения в приближенном виде могут быть использованы, как указывалось выше, в дальнейшем численном методе расчета несущей способности всей конструкции.

Перейдем к рассмотрению расчетной схемы горизонтального стержня 5–8. Полагаем по аналогии с вертикальным стержнем, что расчет остальных горизонтальных стержней, входящих в расчетную схему, нужно вести в том же порядке, как и горизонтального стержня 5–8.

Расчетная схема горизонтального стержня 5–8 и эпюра изгибающего момента приведена на рисунке 4.

Упрощающим предположением является, что горизонтальный стержень 5–8, имеющий поперечное сечение в виде равнобокого уголка (8х8), нагружен сплошной равномерной нагрузкой интенсивностью q и работает на изгиб, как двухопорная балка. Исходными данными к расчету являются равномерно распределенная нагрузка интенсивностью $q = 10$ кН/м; расчетное сопротивление материала $R = 20$ Мпа; длина горизонтального стержня 5–8, $l = 2,5$ м. Определим размер поперечного сечения горизонтального стержня 5–8.

Эпюра изгибающего момента (см. рисунок 4) построена по методике механики элементов конструкции, имеет форму параболы и ее наибольшее значение достигает в середине стержня: $M_{\max} = \frac{q \cdot l^2}{8}$; R_5, R_8 – реакции (см. рисунок 4). Условие прочности по нормальным напряжениям в середине стержня найдем по [11], как:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq R, \text{ или} \quad (6)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{q \cdot l^2}{8W_x} \leq R. \quad (7)$$

В результате требуемый момент сопротивления сечения должен быть $W_x \approx 5,6 \text{ см}^3$.

Из сортамента находим равнобокий уголок, соответствующий требуемому моменту сопротивления сечения.

Прочность указанного равнобокого уголка будет находиться в пределах, как следует из (7):

$$\sigma_{\max} = \frac{q \cdot l^2}{8W_x} \leq R,$$
$$\sigma_{\max} = \frac{10^4 \cdot 2,5^2}{8 \cdot 0,056 \cdot 10^{-4}} \approx 13,95 \text{ Мпа} \leq R = 20 \text{ МПа}.$$

Следовательно, поперечное сечение горизонтального стержня 5–8 отвечает условиям прочности по нормальным напряжениям.

Заключение

В статье выполнено теоретическое обоснование расчетной модели защитного каркаса БТВ, предназначенного для снижения эффективности поражения боеприпасами, доставляемыми БПЛА. На основе анализа существующих пассивных механических средств защиты показано, что каркасно-сетчатые конструкции обладают значительным потенциалом для повышения живучести бронетехники за счет простоты конструкции, ремонтпригодности и возможности оперативного внедрения.

Разработана расчетная схема защитного каркаса и проведено исследование напряженно-деформированного состояния его основных несущих элементов при действии сосредоточенных и распределенных нагрузок. Полученные аналитические зависимости позволяют оценивать прочность и устойчивость вертикальных и горизонтальных стержней, а также обосновывать выбор их геометрических параметров. Результаты расчетов подтверждают принципиальную реализуемость предложенной конструкции и возможность ее применения в качестве элемента пассивной защиты верхней проекции БТВ.

Представленные теоретические положения могут быть использованы при проектировании перспективных защитных устройств каркасного типа и служат основой для дальнейших численных и экспериментальных исследований. В целом полученные

результаты вносят вклад в развитие научно обоснованных подходов к созданию средств защиты БТВ от угроз со стороны БПЛА.

Вклад авторов

Тогусов А.К. – сформулировал научную проблему исследования, разработал общую концепцию работы и расчетную модель защитного каркаса, выполнил теоретическое обоснование и участвовал в интерпретации полученных результатов.

Сеитов Е.С. – осуществил анализ существующих конструктивных решений средств пассивной защиты бронетанковой техники, принял участие в формировании методологии исследования и подготовке обзорной части статьи.

Алимжанов М.Д. – выполнил расчеты напряженно-деформированного состояния элементов конструкции, участвовал в обработке и анализе результатов, а также в подготовке графических материалов и схем.

Калиев А.Б. – принимал участие в разработке расчетной схемы конструкции, уточнении исходных данных для моделирования и в редактировании текста статьи.

Курмангажинов Т.А. – участвовал в формировании выводов исследования, подготовке заключительной части статьи и обеспечивал научное редактирование рукописи.

Благодарность, конфликт интересов

Статья опубликована в рамках выполнения научного проекта грантового финансирования на 2025–2027 годы, ИРН AR261059/024 «Обоснование конструктивных параметров устройства для защиты бронетанкового вооружения от ударов беспилотных летательных аппаратов и разработка на этой основе тактико-технического задания на его создание» (Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан).

Список литературы

1. Патент RU 2830735C1, Российская Федерация. Устройство для защиты бронетанкового вооружения от беспилотных летательных аппаратов. – Оpubл.2014
2. Макаренко С.И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам: монография. – СПб.: Научно-технологические технологии, 2020. – 204 с.
3. Borvik T., Hopperstad O.S., Berstad T., Langseth M. A computational model of viscoplasticity and ductile damage for impact and penetration // European Journal of Mechanics A/Solids. – 2001. – Vol. 20. – P. 685–712.
4. Nurick G.N., Shave G.C. The deformation and tearing of thin square plates subjected to impulsive loads // International Journal of Mechanical Sciences. – 1996. – Vol. 38. – P. 99–116.
5. Almohandes A.A., Abdel-Khalik S.I. Ballistic resistance of steel plates // International Journal of Impact Engineering. – 2005. – Vol. 31. – P. 103–117.
6. Hazell P.J. Armour: Materials, Theory, and Design. – CRC Press, 2015.
7. Cook R.D., Malkus D.S., Plesha M.E., Witt R.J. Concepts and Applications of Finite Element Analysis. – Wiley, 2002.
8. Тимошенко С.П., Гере Дж. Механика материалов. – СПб.: Лань, 2002 – 672 с.
9. Hibbeler R.C. Mechanics of Materials. – Pearson, 2017.

10. Патент KZ 11689, Республика Казахстан. Устройство для защиты бронетанкового вооружения и техники от беспилотных летательных аппаратов / Тогусов А.К., Курмангажинов Т.А., Сеитов Е.С. и др. – Оpubл. 23.01.2026.

11. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов. – М.: Высшая школа, 1989.- 512с.

A.K. Togusov^{1*}, T.A. Kurmangazhinov², E.S. Seitov³, M.D. Alimzhanov⁴, A.B. Kaliyev⁴

¹ *Department of Military Education and Science, Ministry of Defense of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan*

² *JSC "NC Kazakhstan Gharysh Sapary", Astana, Kazakhstan*

³ *National Defense University of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan*

⁴ *L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

Theoretical justification of a computational model of a protective frame for armored vehicles against unmanned aerial vehicles

Abstract. The paper addresses the problem of improving the protection of armored fighting vehicles against destructive means delivered by unmanned aerial vehicles. Modern approaches to the passive protection of the upper projection of combat vehicles based on the use of frame-type, lattice, and screen structures are analyzed. It is shown that these means make it possible to partially compensate for the vulnerability of the hull roof and turret, which, under the conditions of modern armed conflicts, represent one of the most probable impact zones. Special attention is paid to the development and substantiation of a computational model of a protective frame designed to reduce the effectiveness of munitions delivered by unmanned aerial vehicles. The structural scheme of the proposed device, which has received patent protection, is presented, and its theoretical analysis is carried out using the principles of the strength of materials. A study of the stress-strain state of the main frame elements under concentrated and distributed loads is performed, which makes it possible to determine the permissible strength and stiffness parameters of the structure. The obtained results can be used in the design of advanced passive protection systems for armored vehicles and in the development of integrated countermeasure systems against threats posed by unmanned aerial vehicles.

Keywords: Structure, frame, slat screens, model, chain-link mesh, element.

References

1. Patent RU 2830735C1, Russian Federation. Device for protection of armored vehicles from unmanned aerial vehicles. Published 2014 (in Russian).
2. Makarenko S.I. Countering unmanned aerial vehicles: monograph. Saint Petersburg: Naukoemkie tekhnologii, 2020. 204 p. (in Russian).
3. Borvik T., Hopperstad O.S., Berstad T., Langseth M. A computational model of viscoplasticity and ductile damage for impact and penetration // European Journal of Mechanics A/Solids. – 2001. – Vol. 20. – P. 685–712.
4. Nurick G.N., Shave G.C. The deformation and tearing of thin square plates subjected to impulsive loads // International Journal of Mechanical Sciences. – 1996. – Vol. 38. – P. 99–116.

5. Almohandes A.A., Abdel-Khalik S.I. Ballistic resistance of steel plates // International Journal of Impact Engineering. – 2005. – Vol. 31. – P. 103–117.
6. Hazell P.J. Armour: Materials, Theory, and Design. – CRC Press, 2015.
7. Cook R.D., Malkus D.S., Plesha M.E., Witt R.J. Concepts and Applications of Finite Element Analysis. – Wiley, 2002.
8. S.Timoshenko, J.Gere. Mechanics of Materials. – Saint-Petersburg: Lan. – 2002. – 672 p. (in Russian)
9. Hibbeler R.C. Mechanics of Materials. – Pearson, 2017.
10. Patent KZ 11689, Republic of Kazakhstan. Device for protection of armored vehicles and military equipment from unmanned aerial vehicles / Togusov A.K., Kurmangazhinov T.A., Seitov E.S. et al. Published 23.01.2026 (in Russian).
11. Darkov A.V., Shpiro G.S. Strength of materials. Moscow: Vysshaya shkola, 1989. 512 p. (in Russian).

Информация об авторах

Тогусов А.К. – к.т.н., профессор, заместитель начальника Департамента военного образования и науки МО РК, Астана, 010000, Республика Казахстан

Сеитов Е.С. – докторант 2 курса Национального университета обороны Республики Казахстан, Астана, 010017, Республика Казахстан

Курмангажинов Т.А. – инженер Департамента разработки программного обеспечения, Астана, 010017, Республика Казахстан

Алимжанов М.Д. – к.т.н., доцент кафедры механики, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, 010012, Республика Казахстан

Калиев А.Б. – к.т.н., заведующий кафедрой механики, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, 010012, Республика Казахстан

Togusov A.K. – Candidate of Technical Sciences, Professor, Colonel, Deputy Head of the Department of Military Education and Science of the Ministry of Defense of the Republic of Kazakhstan, Astana, 010000, Republic of Kazakhstan

Seitov E.S. – 2nd-year doctoral student, National Defense University of the Republic of Kazakhstan, Astana, 010017, Republic of Kazakhstan

Kurmangazhinov T.A. – Engineer, Software Development Department, Astana, 010017, Republic of Kazakhstan

Alimzhanov M.D. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mechanics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010012, Republic of Kazakhstan

Kaliyev A.B. – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Mechanics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, 010012, Republic of Kazakhstan



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).