

УДК 623.437.093

doi: 10.53816/23061456_2025_3-4_101

**ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИТЫ СПЕЦИАЛЬНОГО АВТОМОБИЛЯ
РАЦИОНАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ЗАЩИТОЙ УЯЗВИМЫХ ЗОН
С СОХРАНЕНИЕМ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ПОДВИЖНОСТИ**

**INCREASING THE PROTECTION OF A SPECIAL VEHICLE BY RATIONAL
DIFFERENTIATED PROTECTION OF VULNERABLE ZONES WHILE
MAINTAINING A HIGH LEVEL OF MOBILITY**

Канд. техн. наук В.Р. Эдигаров, В.С. Конев

Ph.D. V.R. Edigarov, V.S. Konev

Омский автобронетанковый инженерный институт

В статье представлены результаты исследования возможности повышения уровня защищенности специального автомобиля (СА). Разработан методический подход позволяющий обосновать увеличение живучести СА за счет рациональной дифференцированной защиты зон уязвимости и обеспечения высокого уровня подвижности. Представлено: порядок построения методики оценки живучести, включающий построение регрессионных зависимостей вероятности поражения СА от конструктивных свойств элементов защиты и факторов поражения по результатам повреждений, полученных в ходе предыдущих этапов использования СА; построение регрессионных зависимостей показателей подвижности СА от массогабаритных показателей элементов защиты; объединение полученных регрессионных зависимостей в модель живучести СА; синтез технических решений по разработке средств защиты с установленными характеристиками.

Ключевые слова: защищенность, специальный автомобиль, подвижность, элемент защиты зоны уязвимости, методика оценки живучести.

The article presents the results of a study of the possibility of increasing the level of protection of a special vehicle (SA). A methodological approach has been developed that allows justifying an increase in the survivability of a SA due to rational differentiated protection of vulnerable zones and ensuring a high level of mobility. The procedure for constructing a survivability assessment technique is presented, including constructing regression dependencies of the probability of SA damage from the design properties of protection elements and damage factors based on the results of damage received during previous stages of SA use, constructing regression dependencies of SA mobility indicators from the weight and size indicators of protection elements, combining the obtained regression dependencies into a SA survivability model, and synthesizing technical solutions for developing protection equipment with established characteristics.

Keywords: protection, special vehicle, mobility, element of protection of the vulnerable zone, survivability assessment method.

Специальный автомобиль (СА), в том числе с дополнительными средствами защиты, например бронированием отдельных зон, должен отвечать

определенным требованиям [1–7]. Нормативным документом, регламентирующим общие технические требования к броневаой защите, например

отдельных категорий специальных автомобилей, является ГОСТ 34282–2017. В нем четко зафиксированы характеристики броневой защиты, требования к материалам, конструктивные требования и маркировка. Приведена в этом документе и классификация применяемых в России классов (уровней) защиты. Российская классификация не идентична европейской, так как в основе такой классификации лежит стойкость к воздействию средств поражения, а наиболее распространенные в России типы стрелкового оружия существенно отличаются от европейских. Соответственно, будут различаться и классы защиты.

Как известно из многолетнего опыта создания защищенных транспортных средств специального назначения (ТССН), в том числе СА, с увеличением уровня защищенности неизменно растет масса СА, что отрицательно сказывается на его подвижности, а вместе с тем может снизить и общую эффективность [3, 5, 8–10]. Кроме того, для СА вопрос массы ограничивается грузоподъемностью, например шин, а также требованиями к опорной проходимости, к среднему удельному давлению на грунт.

Таким образом, уровень развития науки и техники не позволяет увеличивать защищенность СА в соответствии с существующими постоянно возрастающими требованиями без значительной потери подвижности, что ставит под сомнение эффективность СА, поэтому увеличение защищенности с учетом свойств подвижности становится важной научно-технической задачей, а её решение должно сопровождаться, прежде всего, оценкой подвижности СА.

Для оценки живучести СА наиболее рациональным критерием эффективности является вероятность непоражения (то есть обратная величина вероятности потери подвижности) в течение совершения передвижения между пунктами:

$$P = 1 - (1 - P_0)^{\lambda \cdot t},$$

где P_0 — вероятность поражения СА от единичного попадания боеприпаса;

λ — поток повреждений, выстр/час;

$t = 100 / V_{cp}$ — время нахождения СА на 100 км участке между пунктами, определяемое его подвижностью, ч;

V_{cp} — подвижность, то есть средняя скорость СА по маршруту передвижения.

Поток повреждений зависит от интенсивности потока ведения огня (приведенной плотности огня), вероятности попадания и может быть записан как:

$$\lambda = P_{\Pi} \cdot \lambda_{\Sigma},$$

где P_{Π} — вероятность попадания (примем $P_{\Pi} = 0,7$);

λ_{Σ} — приведенная плотность ведения огня.

В связи с тем, что огонь по СА может вестись сверху, спереди, сбоку и сзади с различной интенсивностью, причем наименьшая интенсивность будет наблюдаться сзади, а слева и справа приблизительно одинаковой, необходимо условно разделить 3D-модель СА на проекции: фронтальную, боковую, заднюю и верхнюю.

Вероятность попадания в i -ю проекцию СА, при условии попадания, определится как матожидание попадания в проекцию:

$$\mu_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i},$$

где n_i — количество попаданий в i -ю проекцию; $\sum_{i=1}^k n_i$ — общее количество попаданий в СА;

k — количество проекций.

Каждая из перечисленных проекций имеет свой набор уязвимых зон. СА можно декомпозировать на совокупность основных уязвимых зон поражения, приводящих к потере подвижности:

- кабина (салон) экипажа;
- силовая установка (моторно-трансмиссионное отделение);
- колесный движитель;
- агрегаты трансмиссии;
- топливные баки и аккумуляторные батареи;
- перевозимый груз или смонтированное технологическое оборудование.

Аналогично определится условная вероятность попадания в j -ю зону поражения при условии попадания в i -ю проекцию СА, как матожидание попадания в зону поражения проекции:

$$v_j = \frac{n_{ij}}{\sum_{j=1}^l n_{ij}},$$

где n_{ij} — количество попаданий в j -ю зону i -й проекции СА;

$\sum_{j=1}^l n_{ij}$ — общее количество попаданий в i -ю проекцию СА;

l — количество зон поражения СА.

Вероятность поражения от единичного попадания боеприпаса в j -ю зону i -й проекции СА P_{pij} можно определить с помощью модели логистической регрессии, построенной по результатам анализа повреждений, полученных в ходе предыдущих воздействий на СА средств поражения:

$$P_{pij}(\mathbf{X}) = \frac{e^{\langle \mathbf{W}, \mathbf{X} \rangle}}{1 + e^{\langle \mathbf{W}, \mathbf{X} \rangle}},$$

где $\mathbf{W} = \{w_0, w_1, w_2, \dots, w_n\}$ — вектор весовых коэффициентов модели;

$\mathbf{X} = \{1, x_1, x_2, \dots, x_n\}$ — вектор факторов (предикторов) модели;

$\langle \mathbf{W}, \mathbf{X} \rangle = w_0 + w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_n x_n$ — скалярное произведение векторов;

n — число факторов (предикторов) модели.

В качестве факторов модели $\mathbf{X} = \{1, x_1, x_2, \dots, x_n\}$ выступают:

- условный калибр поразившего боеприпаса (например по ГОСТ 34282–2017);
- толщина определенного элемента защиты зоны уязвимости автомобиля;
- материал определенного элемента защиты зоны уязвимости автомобиля;
- расстояние от пробойны до центра элемента защиты зоны уязвимости СА;
- наличие противогранатных средств защиты (например, решетки);
- тип компоновки СА (капотная или бескапотная).

При этом целевой переменной регрессионного анализа выступит «событие обездвиживания СА вследствие попадания единичного боеприпаса», где 1 — повреждение от попадания, привело к полной потере подвижности; 0 — повреждение не привело к потере подвижности.

Таким образом, вероятность поражения СА от единичного попадания боеприпаса P_0 определится как сумма средневзвешенных значений вероятностей потери подвижности в результате нахождения СА в зоне поражения, где весами выступают соответствующие условные вероятности (матожидания) попадания в зону поражения и проекцию СА:

$$P_0 = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^5 P_{pij} \cdot \mu_i \cdot \nu_j.$$

Очевидно, что увеличение толщины отдельных элементов защиты зон уязвимости существенно снижает подвижность СА (увеличивает время передвижения между пунктами маршрута передвижения, время преодоления маршрута), что увеличит количество попаданий в СА и с течением времени марша может привести к обратному результату — к снижению живучести.

Подвижность как среднюю скорость по представительному маршруту, в части увеличения массы отдельными элементами защиты уязвимых зон и изменения координат центра масс СА можно рассматривать как функцию от удельной мощности двигателя, угла поперечной статической устойчивости и распределения нагрузки на оси:

$$V_{cp} = F(N, \Theta, \{K_1, K_2, \dots, K_n\}) + V_0, \quad (1)$$

где V_0 — средняя скорость СА без дополнительной защиты;

$F(N, \Theta, \{K_1, K_2, \dots, K_n\}) + V_0$ — функция изменения средней скорости СА из-за изменения его массы и центра масс дополнительным бронированием;

$N = N_{уд0} \frac{m_0}{m_3}$ — относительное изменение

удельной мощности двигателя;

m_0, m_3 — масса СА без дополнительных элементов защиты и с дополнительными элементами защиты, соответственно;

$N_{уд0}$ — удельная мощность СА без дополнительных элементов защиты;

$$\Theta^0 = \frac{\text{tg } \Theta_0}{\text{tg } \Theta_3} = \frac{2z_0}{B} = \frac{z_3}{2z_3} — \text{относительное изменение угла поперечной статической устойчивости;}$$

z_0, z_3 — вертикальные координаты центра масс СА без дополнительных элементов защиты и с дополнительными элементами защиты, соответственно;

$\mathbf{K} = \{K_1, K_2, \dots, K_n\}$ — вектор относительных изменений нагрузки на колеса i -й оси:

$$K_i = \frac{R_{i0}}{R_{i3}}, \quad (2)$$

где R_{i_0}, R_{i_3} — нагрузка на i -ю ось СА без дополнительных элементов защиты и с дополнительными элементами защиты, соответственно.

Таким образом, все перечисленные в формуле (1) показатели имеют зависимость от массы и координат элементов защиты уязвимых зон, что в общем виде можно записать как:

$$V_{cp} = F\left(N(N_{уд0}, \mathbf{M}), \Theta(\mathbf{M}, \mathbf{Z}), K(\mathbf{M}, \mathbf{L})\right) + V_0, \quad (3)$$

где $\mathbf{M} = \{m_0, m_1, \dots, m_n\}$ — вектор масс;

$\mathbf{Z} = \{z_0, z_1, \dots, z_n\}$ — вектор вертикальных координат центров масс;

$\mathbf{L} = \{l_0, l_1, \dots, l_n\}$ — вектор продольных координат центров масс;

$i = 0$ — соответствует СА без дополнительных элементов защиты;

$i \in [1, n]$ — соответствуют i -му элементу защиты зоны уязвимости;

$n \in N$ — число элементов защиты зон уязвимости СА.

Преобразуя выражения (1)–(3), получим зависимости значений факторов, влияющих на подвижность СА, от изменений массы СА и координат центра масс элементов защиты. Для удельной мощности:

$$N_{уд0} = N_{уд0} \frac{m_0}{m_0 + \sum_{i=1}^{i=n} m_i} = N_{уд0} \frac{m_0}{\sum_{i=0}^{i=n} m_i},$$

где $N_{уд0}$ — удельная мощность СА без дополнительных элементов защиты;

m_0 — масса СА без элементов защиты;

$\sum_{i=1}^{i=n} m_i$ — суммарная масса элементов защиты;

m_i — масса i -го элемента защиты.

Для относительного угла поперечной статической устойчивости:

$$\Theta = \frac{\Theta_3}{\Theta_0} = \frac{m_0}{m_0 + \sum_{i=1}^{i=n} m_i} + \frac{\sum_{i=1}^{i=n} m_i z_i}{z_0 (m_0 + \sum_{i=1}^{i=n} m_i)} = \frac{\langle \mathbf{Z}, \mathbf{M} \rangle}{z_0 \sum_{i=0}^{i=n} m_i},$$

где Θ_0, Θ_3 — угол поперечной статической устойчивости СА без элементов защиты и с элементами защиты, соответственно;

z_0 — вертикальная координата центра масс СА без элементов защиты, $z_0 = z_3$, где z_3 — вертикальная координата центра масс СА с элементами защиты;

z_i — вертикальная координата центра масс i -го элемента защиты;

$\langle \mathbf{Z}, \mathbf{M} \rangle$ — скалярное произведение вектора вертикальных координат центров масс и вектора масс.

Для относительной нагрузки на переднюю ось С:

$$K_1 = \frac{R_{1_0}}{R_{1_3}} = \frac{m_0 \left(1 - \frac{l_0}{T}\right)}{\left(m_0 + \sum_{i=1}^{i=n} m_i\right) \left(1 - \frac{1}{T} \cdot \frac{m_0 l_0 + \sum_{i=1}^{i=n} m_i l_i}{m_0 + \sum_{i=1}^{i=n} m_i}\right)} = \frac{m_0 \left(1 - \frac{l_0}{T}\right)}{\sum_{i=0}^{i=n} m_i - \frac{\langle \mathbf{M}, \mathbf{L} \rangle}{T}},$$

где R_{1_0}, R_{1_3} — нагрузка на переднюю ось СА без дополнительных элементов защиты и с дополнительными элементами защиты, соответственно;

l_0 — продольная координата центра масс СА без элементов защиты относительно передней оси («в стоке»);

l_i — продольная координата центра масс i -го элемента защиты;

T — колесная база: расстояние от передней оси до оси балансира задней тележки (до задней оси двухосного СА);

$\langle \mathbf{M}, \mathbf{L} \rangle$ — скалярное произведение вектора продольных координат центров масс и вектора масс.

Для относительной нагрузки на заднюю ось двухосного колесного СА:

$$K_2 = \frac{R_{2_0}}{R_{2_3}} = \frac{m_0 l_0}{m_0 l_0 + \sum_{i=1}^{i=n} m_i l_i} = \frac{m_0 l_0}{\langle \mathbf{M}, \mathbf{L} \rangle},$$

где R_{2_0}, R_{2_3} — нагрузка на заднюю ось двухосного колесного СА без элементов защиты и с элементами защиты, соответственно.

Для получения частного вида функции (3) проводится линейный регрессионный анализ результатов, полученных имитационным моделированием движения СА по представительному маршруту с различными вариантами нагружения.

В то же время, величины нагрузки на оси K_i являются зависимыми между собой и могут быть выражены через массы и продольные координаты масс СА и элементов защиты зон уязвимости. С целью повышения точности регрессионной модели

$$P = 1 - \left(1 - \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^5 \frac{e^{\langle w, x \rangle}}{1 + e^{\langle w, x \rangle}} \cdot \mu_i \cdot v_j \right)^{\lambda \frac{100}{f(N, \Theta, K) + V_0}} \rightarrow \max. \quad (4)$$

Для построения методики оценки живучести, включающей представленные модели и зависимости, предполагается произвести следующее.

1. Построить регрессионные зависимости вероятности поражения СА от конструктивных свойств элементов защиты и факторов поражения по результатам повреждений, полученных в ходе предыдущих этапов использования СА.

2. Построить регрессионные зависимости показателей подвижности СА от массогабаритных показателей элементов защиты в соответствии с выведенными формулами.

3. Объединить полученные регрессионные зависимости в модель живучести СА, учитывающей подвижность, в соответствии с целевой функцией исследования (4).

4. Выполнить многофакторный анализ модели живучести. Получить значения аргументов модели живучести в точках (областях) максимума функции.

5. Синтезировать технические решения по разработке средств защиты с характеристиками, близкими к полученным значениям аргументов модели живучести.

6. Провести военно-техничко-экономическую оценку технических решений с помощью известных методов и методик.

Таким образом, разработанный методический подход позволит увеличить живучесть СА за счет рациональной дифференцированной защищенности зон уязвимости и обеспечения высокого уровня подвижности.

один из зависимых факторов должен быть исключен. В этой связи достаточно оставить только K_1 .

Выводы

Таким образом, задача исследования сводится к поиску максимума целевой функции исследования (вероятности выполнения задачи на маршруте передвижения между пунктами):

Список источников

1. Бархатов Г.С., Акумов А.В. Методический подход к определению тактико-технического потенциала и коэффициента технического уровня образцов военной автомобильной техники // Военная мысль. 2015. № 3. С. 26–34.
2. Шестаков В.А., Колтуков А.А. Бронированные колесные машины армий зарубежных стран. Воскресенск: «Воскресенская типография», 2013. 10 с.
3. Шевченко А.А. Проблемы и перспективы развития бронетанковой и автомобильной техники: Федеральный справочник. Оборонно-промышленный комплекс России 2009–2010. Вып. 6. М.: Центр стратегических программ, 2010. 226 с.
4. Ковальчук В.И. Автотранспорт в армии: современное состояние и тенденции развития // Военное искусство. 2020. № 45 (3). С. 12–25.
5. Иванов А.П. Современные технологии бронирования и защиты автотранспортных средств // Журнал военно-технических исследований. 2019. № 7 (1). С. 34–40.
6. Сидоров И.М., Павленко Д.М. Повышение мобильности автотранспортных средств в условиях городской войны // Военное обозрение. 2019. № 68 (2). С. 56–62.
7. Петренко Е.А. Автоматизация логистики военных перевозок: тенденции и перспективы // Научный вестник военных технологий. 2022. № 9 (4). С. 44–55.
8. Зарайский Д.А. Проблемные вопросы защищенности легкобронированной техники

воздушно-десантных войск // Известия ТулГУ. 2019. 209 с.

9. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования; под ред. В.А. Григоряна. М.: Радио Софт, 2008. 406 с.

10. Кудрявцева Н.С., Легкодух А.М., Матевосян А.П., Фанасова Е.И. Подходы к созданию особо прочных сталей для противопульной брони // Труды III Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности». СПб.: АО «НПО Спецматериалов», 2000. 256 с.

11. Даниил Иринин. В России разработали броню для военных «КамАЗов». [Электронный ресурс]. URL: <https://lenta.ru/news/2023/11/26/v-rossii-razrabotali-bronyu-dlya-voennyh-kamazov/?ysclid=m9cfoxinjt242021255> (дата обращения: 11.12.2024).

12. Надежно, как в танке: армейские «КАМАЗы» и «Уралы» превратили в броневики. [Электронный ресурс]. URL: <https://dzen.ru/a/ZWHR7qwZKma9DCeI?ysclid=m9cfvwr41i464374926> (дата обращения: 11.12.2024).

References

1. Barkhatov G.S., Akumov A.V. Methodological approach to determining the tactical and technical potential and the technical level coefficient of military automotive equipment // Military Thought. 2015. No 3. Pp. 26–34.

2. Shestakov V.A., Koltukov A.A. Armored wheeled vehicles of the armies of foreign countries. Voskresensk: «Voskresenskaya Printing House», 2013. 10 p.

3. Shevchenko A.A. Problems and prospects for the development of armored and automotive equipment: Federal reference book. Defense-industrial

complex of Russia 2009–2010. Issue. 6. M.: Center for Strategic Programs, 2010. 226 p.

4. Kovalchuk V.I. Motor transport in the army: current state and development trends // Military Art. 2020. No 45 (3). Pp. 12–25.

5. Ivanov A.P. Modern technologies for armoring and protecting vehicles // Journal of Military-Technical Research. 2019. No 7 (1). Pp. 34–40.

6. Sidorov I.M., Pavlenko D.M. Increasing the mobility of vehicles in urban warfare // Military Review. 2019. No 68 (2). Pp. 56–62.

7. Petrenko E.A. Automation of military transportation logistics: trends and prospects // Scientific Bulletin of Military Technologies. 2022. No 9 (4). Pp. 44–55.

8. Zaraysky D.A. Problematic issues of protection of lightly armored vehicles of the airborne troops // Izvestiya TuISV, 2019. 209 p.

9. Materials and protective structures for local and individual booking; edited by V.A. Grigoryan. M.: Publishing House Radio Soft, 2008. 406 p.

10. Kudryavtseva N.S., Legkodukh A.M., Matevosyan A.P., Fanasova E.I. Approaches to the creation of particularly strong steels for bulletproof armor // Proceedings of the Third All-Russian Scientific and Practical Conference «Actual Problems of Protection and Security». St. Petersburg, NPO Spetsmaterialov. 2000. 256 p.

11. Daniil Irinin. In Russia developed armor for military «KamAZ». [Electronic resource]. URL: <https://lenta.ru/news/2023/11/26/v-rossii-razrabotali-bronyu-dlya-voennyh-kamazov/?ysclid=m9cfoxinjt242021255> (date of reference: 11.12.2024).

12. Reliable as in a tank: army «KAMAZ» and «Ural» turned into armored cars. [Electronic resource]. URL: <https://dzen.ru/a/ZWHR7qwZKma9DCeI?ysclid=m9cfvwr41i464374926> (date of reference: 11.12.2024).