



ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ПОРАЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ РЕМОНТНЫХ МАСТЕРСКИХ В ХОДЕ ВЕДЕНИЯ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ

Нечаев В. В.¹, Шангутов А. О.², Бердников А. А.²

¹ФГКВОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулёва», г. Санкт-Петербург.

²ФГКВОУ ВО «Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации», г. Пермь.

Поэтапно описан процесс разработки вероятностной модели поражения подвижных ремонтных мастерских в ходе ведения боевых действий, которая, с учетом вероятности прямого поражения объектов подвижных средств технического обслуживания и ремонта не ниже заданной, плотности осколочного поля, рельефа местности расположения ремонтного оборудования, используя результаты, полученные при моделировании случайных величин поражения противником участков местности, позволяет определить рациональные координаты размещения техники ремонтно-восстановительного органа относительно центральной части взрывов боеприпасов противника.

Ключевые слова: вероятностная модель поражения; закон Пуассона; ширина области перехода вероятности поражения; зависимость вероятности поражения; ремонтно-восстановительный орган.

Для цитирования: Нечаев В. В., Шангутов А. О., Бердников А. А. Вероятностная модель поражения подвижных ремонтных мастерских в ходе ведения боевых действий // Альманах Пермского военного института войск национальной гвардии Российской Федерации. Выпуск 3(19) (сентябрь 2025). С. 35–42.

PROBABILISTIC MODEL OF DESTRUCTION OF MOBILE REPAIR SHOPS DURING COMBAT OPERATIONS

Nechaev V. V.¹, Shangutov A. O.², Berdnikov A. A.²

¹FGKVOU VO «Military Academy of Logistic Support named after General of the Army A.V. Khrulev», St. Petersburg.

²FGKVOU VO «Perm Military Institute of the National Guard of the Russian Federation», Perm.

The process of developing a probabilistic model of damage to mobile repair shops during combat operations is described in stages, which, taking into account the probability of direct damage to objects of mobile maintenance and repair facilities not lower than a given one, the density of the fragmentation field, the terrain of the location of repair equipment, using the results obtained by modeling random variables of enemy damage to terrain, allows us to determine rational coordinates the location of the equipment of the repair and restoration body relative to the central part of the explosions of enemy ammunition.

Key words: probability model of damage; Poisson's law; width of the transition region of damage probability; dependence of damage probability; repair and restoration organ.

Введение

Наличие военной техники, ее качественное состояние, готовность к применению по назначению прямо влияют на уровень боеспособности группировок войск (сил), их огневую

мощь, подвижность и маневренность при различных способах ведения боевых действий, а также изменениях форм применения соединений, частей и подразделений. Это подтверждается практическим опытом последних вооруженных конфликтов в Закавказье, Ближнем Востоке, а также всем ходом специальной военной операции, проводимой Российской Федерацией на Украине.

Одним из основных назначений военной техники является переброска частей и подразделений, вооружения, боеприпасов и материальных средств, что по сравнению с другими видами транспорта является более мобильным и оперативным способом. Учет практического опыта применения военной техники в вопросах ее дальнейшего развития и совершенствования приводит к ее усложнению, при этом для достижения высоких эксплуатационных показателей надежности, защищенности и др. применяются различные технологические инновации. В настоящее время происходит интенсивный процесс перевооружения силовых структур Российской Федерации, проводится комплексное оснащение частей и подразделений современными системами и образцами вооружения, военной и специальной техники.

Как показывает опыт специальной военной операции, современный боевой ударный контур активнейшим образом насыщается широким спектром беспилотных платформ различного назначения и характеристик. Их боевое применение в первую очередь нацелено на поражение военной автомобильной и гусеничной техники, потери которой, по сравнению с предыдущими военными конфликтами, кратно возрастают. Данное обстоятельство обуславливает повышение важности задачи технической разведки, эвакуации и своевременного и качественного ремонта военной техники. Эти задачи возлагаются на ремонтно-восстановительные части и подразделения войскового уровня, в частности на их основную составляющую – подвижные ремонтные мастерские. Выполнение указанных задач как правило осуществляется в условиях огневого воздействия противника, зачастую на поле боя, что естественно приводит поражению техники ремонтно-восстановительных частей и подразделений.

В зависимости от степени повреждения техника ремонтно-восстановительного органа теряет свои функциональные свойства, заложенные в неё при конструировании. От состояния подвижных ремонтных мастерских ремонтного подразделения зависят временные показатели по восстановлению поврежденной военной техники, количество и качество выполняемых ремонтных работ. Перефразируя данное выражение можно утверждать, что от технического состояния подвижных ремонтных мастерских зависит уровень готовности как отдельно взятой единицы техники и смонтированного на её базе вооружения, так и частей и соединений в целом. Таким образом, вопросы обеспечения живучести военной техники ремонтно-восстановительных частей и подразделений, разработки и совершенствования научно-методического аппарата её повышения, организации восстановительных работ требуют дальнейшего исследования.

Основная часть

Определение безопасного места расположения техники ремонтно-восстановительного органа должно быть неразрывно связано с порядком определения возможного способа и вида применения противником имеющегося вооружения. Наиболее объективным и точным видом прогнозирования расчетных способов воздействия вооружения противника является оптимизация эффективности поражения объектов по показателю – максимуму вероятности поражения цели [1].

Исходя из этого фактическая степень защиты техники ремонтно-восстановительного органа должна являться основным критерием при оценке имеющихся возможностей средств защиты при противостоянии огневому воздействию противника. К таким средствам защиты в первую очередь необходимо отнести искусственные заграждения и специальные грунтовые укрытия.

Для уменьшения вероятности поражения техники ремонтно-восстановительного органа, в нашем случае подвижных объектов, которыми являются ремонтные мастерские, должна быть разработана вероятностная модель поражения подвижных ремонтных

мастерских в ходе ведения боевых действий, которая позволила бы, с учетом вероятности прямого поражения объектов подвижных средств технического обслуживания и ремонта не ниже заданной плотности осколочного поля, рельефа местности расположения ремонтного оборудования, используя результаты, полученные при моделировании случайных величин поражения противником участков местности, определить рациональные координаты размещения техники ремонтно-восстановительного органа [2].

Результаты анализа средств огневого воздействия противника в ходе специальной военной операции позволяет сделать вывод о том, что более всего применяются снаряды калибром 152 мм, оставшиеся в «наследство» вооруженным силам Украины от Советского Союза, и калибром 155 мм, что обусловлено постепенным переходом противника, в связи с выбыванием «старых» запасов вооружения и боеприпасов, на стандарты и вооружение блока НАТО. Для стрельбы данными снарядами противник использует в основном пушки Д-20, «Мста-Б» и 155-мм гаубица М777, с дальностью стрельбы до 30 км. Эти исходные данные (тактико-технические характеристики) и были положены в основу разработки вероятностной модели поражения подвижных ремонтных мастерских.

Наиболее значимым фактором при разработке модели должно стать условие о возможности её использования для оценки уязвимости подвижных ремонтных мастерских с установлением минимизации поражения средств ремонта артиллерией противника. В качестве основных факторов, влияющих на показатели эффективности стрельбы артиллерийских подразделений, были выделены: приведённая площадь поражения, плотность осколочного поля, вероятность поражения целей, микрорельеф местности с расположенными на ней подвижными объектами ремонтно-восстановительного органа.

При разработке вероятностной модели поражения подвижных ремонтных мастерских в ходе ведения боевых действий выбор способа оценки эффективности поражения осуществлялся исходя из степени соответствия области применения артиллерии условиям выполнения огневой задачи. В результате расчётов получены значения показателя эффективности стрельбы при реализации каждого из альтернативных вариантов решения¹.

Наиболее перспективным методом моделирования является метод Монте-Карло. Реализация данного метода базируется на использовании теории больших чисел. Учитывая положения теории вероятности, задача оценки эффективности боевого применения артиллерии сводится к многократному моделированию случайных условий стрельбы и определению показателей её эффективности. Результаты оценки показателей эффективности боевого применения артиллерии при достаточно большом количестве испытаний принимаются за искомые числовые характеристики [3, 4].

Разрыв артиллерийского снаряда создает сплошное поле распределения поражающего фактора с последующим снижением его уровня по мере удаления от точки разрыва. При этом область, в которой этот уровень является критическим для данного объекта или превышает его, является зоной поражения. Поле взрыва является центрально-симметричное и имеет сферическую зону поражения, обозначаемую радиусом R_n . При этом достоверное поражение цели будет в том случае, если ремонтно-восстановительная техника целиком или ее часть будет находиться в данной зоне поражения. В данном случае координатный закон поражения будет представлен в виде ступенчатой функции, равной единице в окружности цели, содержащей точки, удаленной от объекта поражения не более, чем на R_n .

Область $D_0 = \{x, y, z : G(x, y, z) = 1\}$ является обобщенной целью. При попадании в данную область отдельной единицы техники будет считаться ее поражением. Исходя из этого вероятность поражения цели одним выстрелом необходимо рассчитывать по интегральной формуле полной вероятности:

$$W = \iint D G(x, y, z) f(x, y, z) dx dy dz, \quad (1)$$

где $G(x, y, z)$ – функция координатного закона поражения;

¹ Патент № 2802656 С1 Российская Федерация, МПК F41H 3/02, В60Р 3/14. Способ повышения живучести подвижной автомобильной ремонтной мастерской: № 2023108269: заявл. 03.04.2023: опубл. 30.08.2023 / В. В. Нечаев, Э. С. Зайцев, С. А. Бирюков. – EDN ELMBPH.

$f(x, y, z)$ – плотность распределения точек срабатывания.

При известных характеристиках поля поражающих элементов возможно представить функцию координатного закона поражения, как:

$$G(x, y, z) = 1 - e^{-\Pi(x, y, z) S_{ц} P(q, v)}, \quad (2)$$

где $\Pi(x, y, z)$ – плотность поля поражающих осколков;

$S_{ц}$ – площадь цели;

$P(q, v)$ – полная вероятность поражения цели одним попавшим в нее поражающим элементом.

Вычисления вероятности поражения подвижных ремонтных мастерских осколочным полем выполнялись с использованием двух допущений. Первое относится к распределению поражающих элементов, которое вытекает из закона Пуассона. Следующее допущение предполагает достаточность одного точного попадания для полного поражения ремонтно-восстановительной техники. То есть цель, независимо от собственного размера и размеров осколочного поля, накрывается однородным полем осколков с плотностью, которая зависит от координат точки подрыва в целевой системе координат.

Размер участка был выбран 550 на 250 метров, что соответствует нормативным размерам размещения комплекта ПАРМ – 3А1. Создана матрица высот, где входными исходными данными являлись задаваемые среднеквадратические отклонения высот микрорельефа oh , м. В разработанной матрице средний перепад высот между соседними экстремумами рассматривается как глубина расчленения, а среднее расстояние между экстремумами – как ее густота.

С помощью генератора случайных чисел получали координаты рассеивания снарядов, подчиненные нормальному закону распределения. При расчёте статистических оценок искомых случайных величин показателя эффективности стрельбы использовалось математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение и вероятность того, где полученная частность при увеличении числа опытов приближается к искомой вероятности.

Случайные величины ошибок подготовки и рассеивания также подчинены нормальному закону распределения.

Поражение цели констатируем из условия:

$$D_i = \sqrt{(X_{цi} - X_{pi})^2 + (Y_{цi} - Y_{pi})^2 + (Z_{цi} - Z_{pi})^2}, \quad (3)$$

$$POR = 1, \text{ если } D \leq \sqrt{\frac{S_{ПР}}{\pi}}; 0 - \text{ если не выполняется условие,}$$

где D_i – расстояние от точки разрыва до цели;

POR – условие поражения.

Приведённая площадь осколочного поражения ($S_{ПР}$) определялась при принятых допущениях как произведение вероятности поражения в пределах сферы и площади, ограниченной радиусом поражения. Вероятность поражения подвижной ремонтной мастерской будет составлять 100 % в случае, если площадь её размеров будет находиться в пределах площади, ограниченной радиусом поражения:

$$S_{ПР} = P_i \pi R_n^2. \quad (4)$$

При учёте экранирования элементарных целей друг другом и местными предметами, а также складками местности, при расчете $S_{ПР}$, вычисление поражения следует производить по формуле:

$$P_i = (1 - e^{-\delta_i}) e^{-((\Delta_{ц} d_{ц} + \Delta_{П} d_{П} + \Delta_{н} \sigma_{н}) R_n)} e^{-\frac{U_i}{R_n}}, \quad (5)$$

где δ_i – доля убойных осколков, приходящихся на цель;

$\Delta_{ц}$ – плотность цели, $1/m^2$;

$d_{ц}$ – средний диаметр цели, м;

$\Delta_{П}$ – плотность местных предметов, $1/m^2$;

$d_{П}$ – средний диаметр местных предметов, м (например деревьев, кустарников);

Δh – плотность экстремумов перепадов высот, $1/m^2$;

σh – среднеквадратическое отклонение высот, м.

Выполнив преобразование третьего множителя, используя формулы, устанавливающие связи между основными тригонометрическими функциями, получим:

$$P_i = (1 - e^{-\delta_i}) e^{-((\Delta_u d_u + \Delta_{\Pi} d_{\Pi} + \Delta_h \sigma_h) R_{\Pi}) \left(\frac{2}{3} - \frac{4}{3\pi} \arctg \left(\frac{D_i - R_{\Pi}}{R_{\Pi}} \right) \right)}. \quad (6)$$

Введя коэффициент α , характеризующего ширину области перехода вероятности поражения от 100% к 0 получим выражение следующего вида:

$$P_i = (1 - e^{-\delta_i}) e^{-((\Delta_u d_u + \Delta_{\Pi} d_{\Pi} + \Delta_h \sigma_h) R_{\Pi}) \left(\frac{\frac{\pi}{2} - \arctg \left(\alpha \left(\frac{D_i - R_{\Pi}}{R_{\Pi}} \right) \right)}{\frac{\pi}{2} + \arctg \alpha} \right)} \quad (7)$$

Наличие коэффициента α указывает на гарантированное поражение подвижной ремонтной мастерской, так как он используется в случае прямого поражения техники, когда площадь размеров техники находится в пределах площади, ограниченной радиусом поражения.

При помощи полученных математических зависимостей и разработанной программы ЭВМ² были установлены рациональные расстояния между подвижными ремонтными мастерскими, которые не должны быть менее 64,5 м при использовании противником артиллерийских выстрелов калибром 152 мм. При таком расстоянии вероятность прямого поражения двух и более подвижных средств технического обслуживания и ремонта находится в районе нулевой отметки, вероятность сплошного поражения осколочным полем боеприпаса минимальна. Зависимость вероятности поражения подвижной ремонтной мастерской от количества убийных осколков при угле падения снаряда калибром 152 мм равным 30^0 на расстоянии 21 м от эпицентра взрыва представлена на рисунке 1.

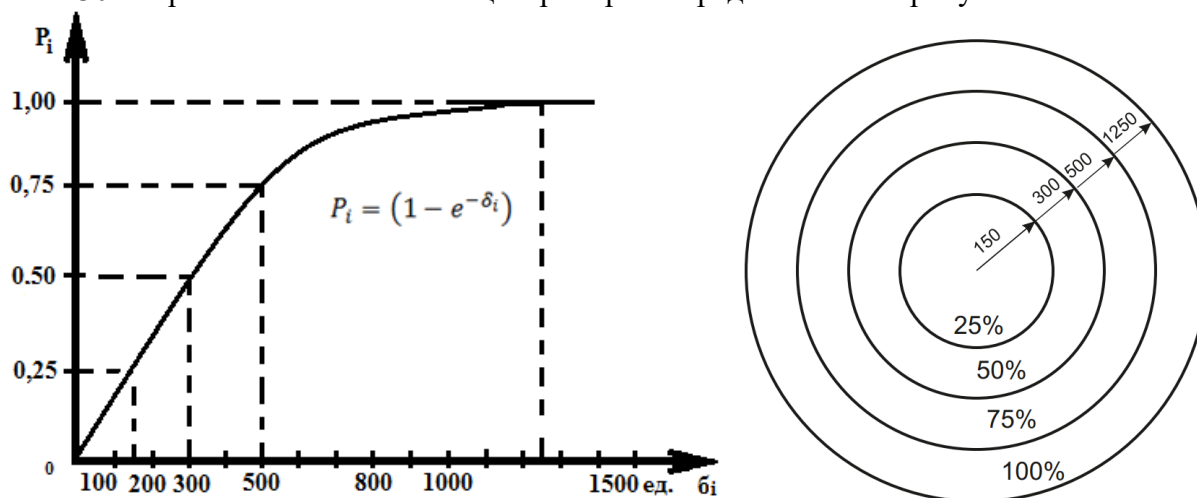


Рисунок 1 – Зависимость вероятности поражения ремонтной мастерской от количества убийных осколков

Зависимость вероятности поражения подвижной ремонтной мастерской от расстояния центра взрыва боеприпаса диаметром 152 мм отображена на рисунке 2.

² Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2024610902. Программа выбора предпочтительного варианта размещения техники ремонтно-восстановительного подразделения на местности для реализации комплексной методики повышения живучести ремонтно-восстановительных органов. Автор Зайцев Э. С., правообладатель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева», – Опубликовано: 16.01.2024.

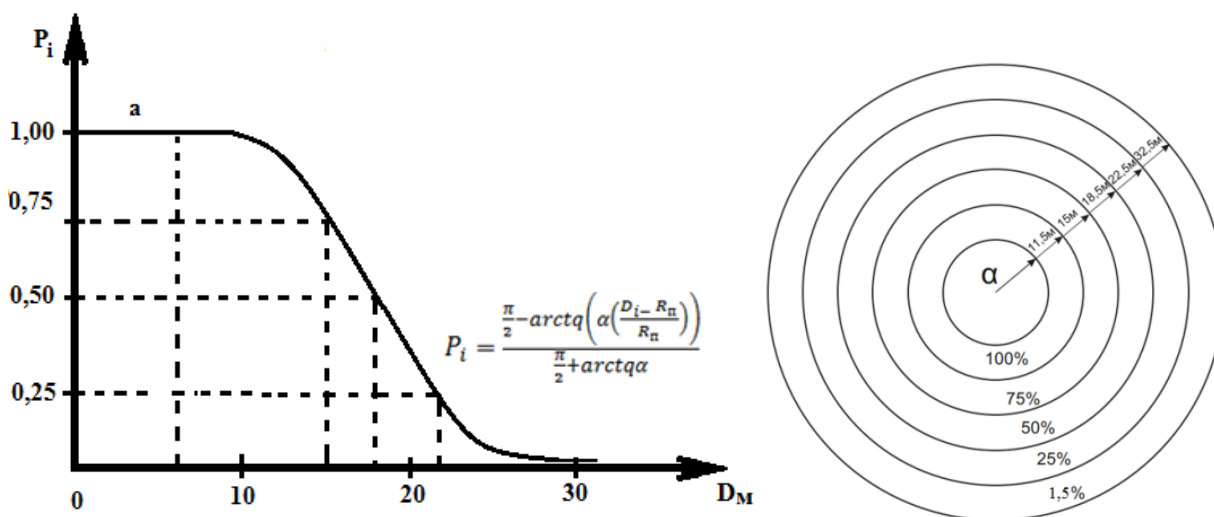


Рисунок 2 – Зависимость вероятности поражения подвижной ремонтной мастерской от расстояния центра взрыва боеприпаса

Рассматривалась мастерская МТО – АМ.1, расположенная кабиной, направленной к эпицентру взрыва. Для рисунка 2 предлагается вести отсчет удаления центра взрыва от центра мастерской.

Предлагаемая схема размещения ремонтной техники на сборном пункте повреждённых машин, содержащая все элементы, представлена на рисунке 3, где позиция 1 соответствует участку приема техники, 2 – участок контроля технического состояния, 3 – участок ремонта, 4 – участок испытаний и 5 – пробеговая трасса.

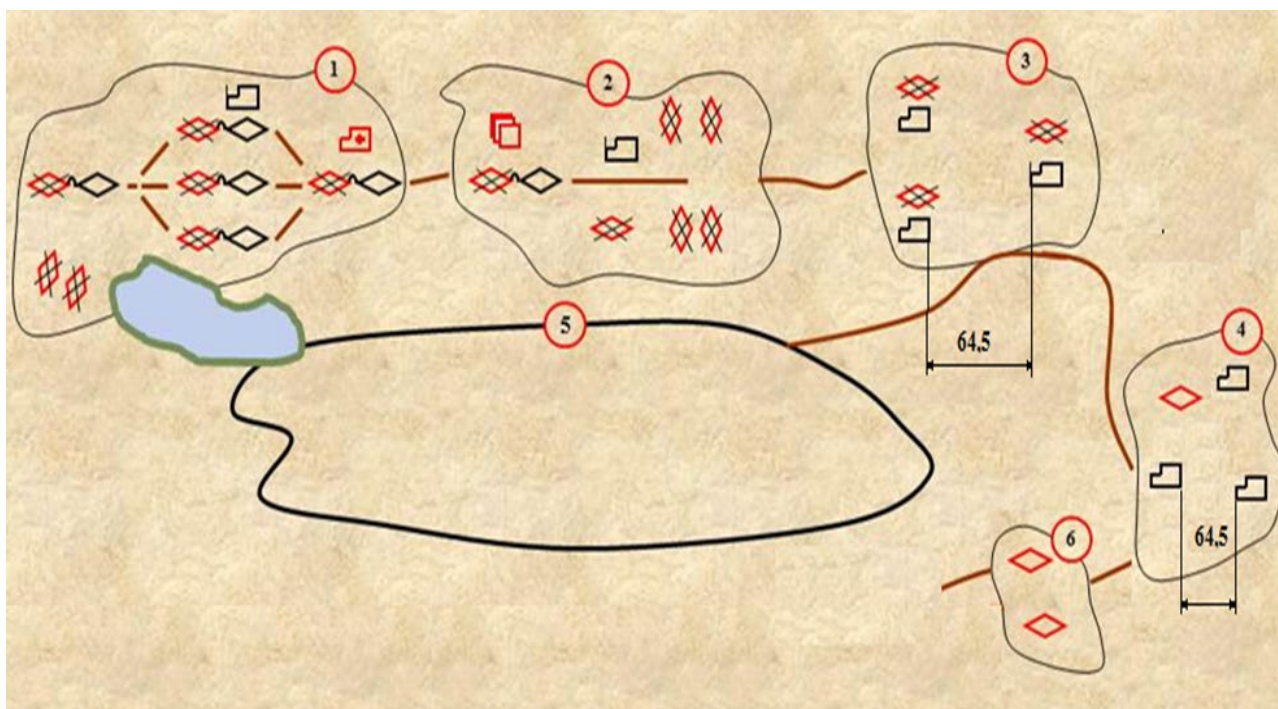


Рисунок 3 – Предлагаемая схема размещения ремонтной техники на сборном пункте повреждённых машин: 1 соответствует участку приема техники, 2 – участок контроля технического состояния, 3 - участок ремонта, 4 – участок испытаний; 5 – пробеговая трасса

В проведенных ранее исследованиях разработана методика выбора предпочтительного варианта размещения техники ремонтно-восстановительного подразделения. Данная методика позволяет решить такие задачи, как:

определение наиболее безопасной точки расположения и функционирования военной техники;

оценка возможности средств защиты по противостоянию средствам огневого воздействия противника;

подготовка обоснованных предложений о рациональности возведения искусственных защитных сооружений [5, 6].

Основным и значительным недостатком описанной вероятностной модели поражения подвижных ремонтных мастерских в ходе ведения боевых действий является то, что она абсолютно не учитывает метеорологических условий, в частности направление и скорость ветра, при моделировании боевых действий. Эти факторы существенно влияют на поражающий эффект от применяемого противником вооружения и в обязательном порядке должны учитываться при установлении рациональных координат размещения подвижных ремонтных мастерских. Кроме того, целесообразно учитывать в модели и состав грунта, на котором размещается техника ремонтного подразделения [7].

Этот показатель влияет не только на диаметр воронки, образующийся в результате разрыва боеприпаса, но и на границы зоны действия поражающих факторов [8].

Указанные недостатки являются очевидными и, в обязательном порядке, станут в ближайшее время объектом исследований авторского коллектива, в результате которых планируется их устранение.

Заключение

Таким образом, разработанная и описанная в данной научной статье вероятностная модель поражения подвижных ремонтных мастерских в ходе ведения боевых действий, с учетом вероятности прямого поражения объектов подвижных средств технического обслуживания и ремонта не ниже заданной плотности осколочного поля, рельефа местности расположения ремонтного оборудования, используя результаты, полученные при моделировании случайных величин поражения противником участков местности, позволяет определить рациональные координаты размещения техники ремонтно-восстановительного органа относительно центральной части взрывов боеприпасов противника.

Библиографический список

1. Нечаев, В. В. Комплексная методика повышения живучести ремонтно-восстановительных органов / В. В. Нечаев, Э. С. Зайцев // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2023. – № 7–8 (181–182). – С. 27–35. – DOI 10.53816/23061456_2023_7-8_27. – EDN FDSUCX.
2. Нечаев, В. В. Математическая модель формирования состава комплекта для реализации комплексной методики повышения живучести ремонтно-восстановительных органов / В. В. Нечаев, Э. С. Зайцев // Стратегическая стабильность. – 2023. – № 4 (105). – С. 9–13. – EDN SSWDTK.
3. Нечаев, В. В. Метод восполнения запасных частей для поддержания и обеспечения работоспособного состояния автомобильного транспорта / В. В. Нечаев // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 1 (72). – С. 3–12. – DOI 10.33979/2073-7432-2021-72-1-3-12. – EDN UYFTTD.
4. Нечаева, В. А. Физические закономерности изменения параметров автомобильной техники при её использовании по назначению / В. А. Нечаева // Актуальные вопросы перспективных направлений применения автомобильной и специальной техники : Сборник научных трудов IV Межведомственной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 13 мая 2022 года. – Санкт-Петербург: ООО «Медиапапир», 2022. – С. 137–142. – EDN VNVNMB.
5. Нечаев, В. В. Конструкция генераторной установки для современного образца военной автомобильной техники / В. В. Нечаев, В. А. Нечаева // Наука и военная безопасность. – 2022. – № 3 (30). – С. 22–27. – EDN ZCFKMR.

6. Нечаев, В. В. Методика поиска и распознавания видов отказа автомобильной техники / В. В. Нечаев // Грузовик. – 2020. – № 7. – С. 21–27. – EDN UTTKBQ.

7. Нечаев, В. В. Метод диагностирования автомобильной аккумуляторной батареи / В. В. Нечаев // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 1–1 (80). – С. 12–18. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-12-18. – EDN BLDYKJ.

8. Нечаева, В. А. Физическое обоснование метода диагностирования автомобильных генераторных установок / В. А. Нечаева // Совершенствование систем эксплуатации и восстановления вооружения и военной техники. Роль качества подготовки военных специалистов технического обеспечения : Материалы X Всероссийской научно-практической конференции, Омск, 25 ноября 2022 года. – Омск: Омский автобронетанковый инженерный институт, 2022. – С. 243–247. – EDN UAONKU.

Контактная информация:

Нечаев Виталий Викторович – nechver@mail.ru

Шангутов Антон Олегович – army_5559@mail.ru

Бердников Алексей Анатольевич – kross@mail.ru

References

1. Nechaev, V. V. Comprehensive Methodology for Increasing the Survivability of Repair and Recovery Units / V. V. Nechaev, E. S. Zaitsev // Issues of Defense Equipment. Series 16: Technical Means of Countering Terrorism. – 2023. – No. 7–8 (181–182). – P. 27–35. – DOI 10.53816/23061456_2023_7–8_27. – EDN FDSUCX.

2. Nechaev, V. V. Mathematical Model for Forming the Composition of a Kit for Implementing a Comprehensive Methodology for Increasing the Survivability of Repair and Recovery Units / V. V. Nechaev, E. S. Zaitsev // Strategic Stability. – 2023. – No. 4 (105). – P. 9–13. – EDN SSWDTK.

3. Nechaev, V. V. Method of replenishing spare parts to maintain and ensure the operability of motor vehicles / V. V. Nechaev // The World of Transport and Technological Machines. – 2021. – No. 1 (72). – P. 3–12. – DOI 10.33979/2073-7432-2021-72-1-3-12. – EDN UYFTTD.

4. Nechaeva, V. A. Physical patterns of changes in the parameters of automotive equipment when used for its intended purpose / V. A. Nechaeva // Actual issues of promising areas of application of automotive and special equipment: Collection of scientific papers of the IV Interdepartmental Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, May 13, 2022. – St. Petersburg: ООО «Mediapapir», 2022. – P. 137–142. – EDN VNVNMB.

5. Nechaev, V. V. Design of a Generator Unit for a Modern Model of Military Automotive Vehicles / V. V. Nechaev, V. A. Nechaeva // Science and Military Security. – 2022. – No. 3 (30). – P. 22–27. – EDN ZCFKMR.

6. Nechaev, V. V. Methodology for Searching and Recognizing Types of Failure of Automotive Vehicles / V. V. Nechaev // Truck. – 2020. – No. 7. – P. 21–27. – EDN UTTKBQ.

7. Nechaev, V. V. Method for Diagnosing an Automobile Battery / V. V. Nechaev // World of Transport and Technological Machines. – 2023. – No. 1–1 (80). – P. 12–18. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-12-18. – EDN BLDYKJ.

8. Nechaeva, V. A. Physical substantiation of the method for diagnosing automobile generator sets / V. A. Nechaeva // Improving the systems for the operation and restoration of weapons and military equipment. The role of the quality of training of military technical support specialists: Proceedings of the X All-Russian scientific and practical conference, Omsk, November 25, 2022. – Omsk: Omsk Armored Engineering Institute, 2022. – P. 243–247. – EDN UAONKU.

Contact information:

Nechaev Vitaly Viktorovich – nechver@mail.ru

Shangutov Anton Olegovich – army_5559@mail.ru

Berdnikov Alexey Anatolyevich – kross@mail.ru