

УДК 355.40

О. Б. Анипко, Ю. М. Бусяк, И. Ю. Бирюков

МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА БРОНЕТАНКОВОГО ВООРУЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНЫХ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

В статье рассмотрена модель функционирования комплекса бронетанкового вооружения на основе дискретных цепей Маркова.

К л ю ч е в ы е с л о в а: процесс функционирования танкового вооружения, циклограмма подготовки стрельбы, граф аналитической модели использования бронетанковой техники, матрица переходов.

Постановка проблемы. В процессе создания перспективных образцов вооружения необходимость разработки новых и развития известных методов моделирования стимулируется непрерывным возрастанием сложности, масштабности, комплексности существующих проблем, связанных с повышением эффективности применения имеющихся технических средств и вооружения.

До сравнительно недавнего времени поиски в основном сводились к созданию специального математического обеспечения управления вооруженными силами, анализу и оценке возможных вариантов решения задач, выбору оптимального из них и на его основе планированию боевой операции [1–4]. Однако такой уровень уже не удовлетворяет требованиям стремительно развивающейся динамики теории вооруженной борьбы в целом.

Анализ последних исследований и публикаций. На современном этапе задачи моделирования в целостной теории вооруженной борьбы стоят гораздо шире и могут быть охарактеризованы двумя фундаментальными направлениями [2].

1. Единая фундаментальная теория вооруженной борьбы, объектом исследования которой является прогнозирование на основе моделей взаимного воздействия противоборствующих сторон в процессе их целенаправленной деятельности.

2. Теория боевых систем – как фундамент для непосредственного моделирования с точки зрения единой системной методикой, объектом исследования которой являются боевые системы как целостные комплексы оружия и технических средств.

В отечественной научно-технической литературе публикации по этой проблематике весьма немногочисленны [2–6]. По-видимому это связано с отсутствием официального концептуального видения боевой системы будущего, как для Вооруженных Сил Украины в целом (по аналогии с Future Combat System FCS), так и тактического звена Сухопутных войск в частности.

Цель статьи – смоделировать функционирование комплекса бронетанкового вооружения с применением аппарата дискретных цепей Маркова совместно с положениями теории массового обслуживания.

Изложение основного материала. Предположим, что в зону обслуживания одним объектом бронетанковой техники (БТТ) поступает пуассоновский поток целей с параметром λ_c . Из общего числа обнаруженных целей S обслуживается одна, при этом время обслуживания одной цели представляет собой случайную величину, которая описывается функцией распределения

$$B(t) = 1 - e^{-M_z t}, \quad (1)$$

где $M_z > 0$.

Если в момент окончания обслуживания очередной цели имеется хотя бы одна цель из числа обнаруженных и идентифицированных, то объект БТТ немедленно переходит к ее обслуживанию. Если целей нет, то система находится в состоянии поиска новых целей и активизируется при поступлении их в зону поиска.

Таким образом, состояние системы определяется числом целей i , связанных с нею. Цель называется связанной, если она обнаружена, обслуживается или ожидает обслуживания в очереди [7–10].

Число целей S , стоящих в очереди на обслуживание, может быть сколь угодно большим. Поэтому в общем случае система имеет бесконечно большое число состояний. Тогда процесс функционирования БТТ может быть представлен в виде графа (см. рис. 1).

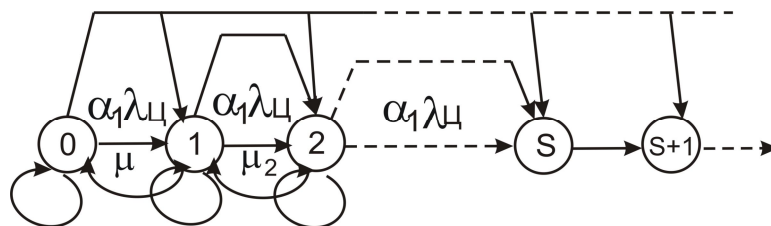


Рис. 1. Общий случай функционирования вооружения БТТ при бесконечном числе целей и неограниченной пропускной способности

Модель, представленная таким образом, не может быть непосредственно использована для моделирования функционирования вооружения БТТ в связи со следующими положениями.

1. Технические характеристики системы управления огнем, прицельно-дальномерного комплекса, механизма заряжания, механизмов пушки, боеприпаса определяют пропускную способность рассматриваемой системы.

2. Время обслуживания одной цели зависит от ее относительного положения и дальности до нее (в пределах прямого выстрела).

3. Различные цели определяют свои значения насыщения для системы. Насыщение системы определяется количеством боеприпасов 1-й очереди и, при вероятности попадания при выстреле $P \rightarrow 1$, не может быть больше числа боеприпасов, даже с учетом различных типов боеприпасов в боекомплекте. Таким образом, насыщение системы представляет собой относительную величину.

Учитывая эти положения, рассмотрим модель функционирования бронетанкового вооружения, содержащую следующие состояния.

0. $E_{исх}$ – исходное состояние, объект БТТ находится на поле боя, все системы и механизмы комплекса вооружения включены.

1. $E_{поиск}$ – поиск целей всеми возможными средствами поиска (зависит от типа объекта БТТ и имеющихся технических средств).

2. $E_{обн}$ – цель обнаружена командиром, проидентифицирована, выдано целеуказание наводчику.

3. $E_{навод}$ – цель взята на обслуживание наводчиком.

4. $E_{тех}$ – техническая подготовка выстрела (измерение дальности, выбор боеприпаса, заряжание).

5. $E_{уточн}$ – уточнение наводки прицельной марки на цель.

6. $E_{выстр}$ – осуществление процесса выстрела, боеприпас покинул ствол.

7. $E_{пор}$ – цель поражена.

8. $E_{н.п.}$ – цель не поражена.

Граф переходов цели состояний представлен на рис. 2.

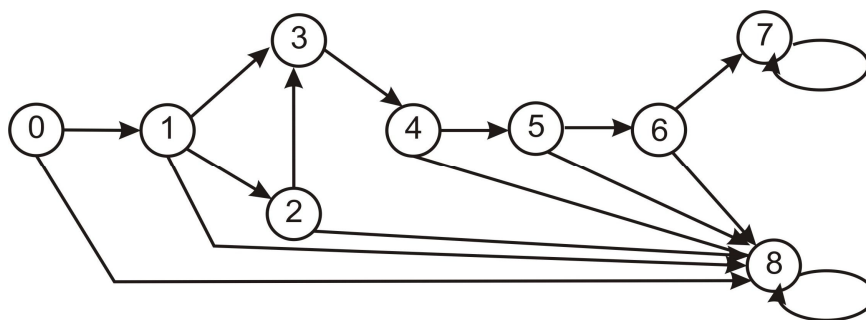


Рис. 2. Граф переходов модели функционирования танкового вооружения

Модель, построенная таким образом, не обладает марковскими свойствами, поскольку переход в последующее состояние с учетом особенностей системы, перечисленных выше, зависит не только от самих состояний, а и от времени пребывания в предыдущих состояниях и от количества обслуженных целей.

В связи с этим состояния цели должны быть доопределены так, чтобы модель соответствовала марковским свойствам.

Цель может быть обнаружена, но не может быть обслужена, если номер текущей цели i превышает соответствующее число боеприпасов B_i^1 , т. е.

$$i > B_i^1. \quad (2)$$

Также цель может быть обнаружена, если она находится в пределах радиуса $R_{обн.}$ (рис. 3)

$$D \leq R_{обн.}, \quad (3)$$

где $R_{обн.}$ – дальность обнаружения.

С другой стороны, если $R_{обн.} = \text{const}$, а рассматриваемая система и цель движутся со скоростями V и $V_{в.н.}$, то и в общем случае для фиксированного момента времени

$$D = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}, \quad (4)$$

где $\Delta X = (V^X + V_{в.н.}^X) \cdot \tau$; $\Delta Y = (V^Y + V_{в.н.}^Y) \cdot \tau$.

На рис. 3 приведена схема функционирования танкового вооружения, где $R_{стр}^{бал}$ – стрельба с использованием танкового баллистического вычислителя; $R_{стр}^{пв}$ – дальность прямого выстрела; α – угол поля зрения оптического прибора.

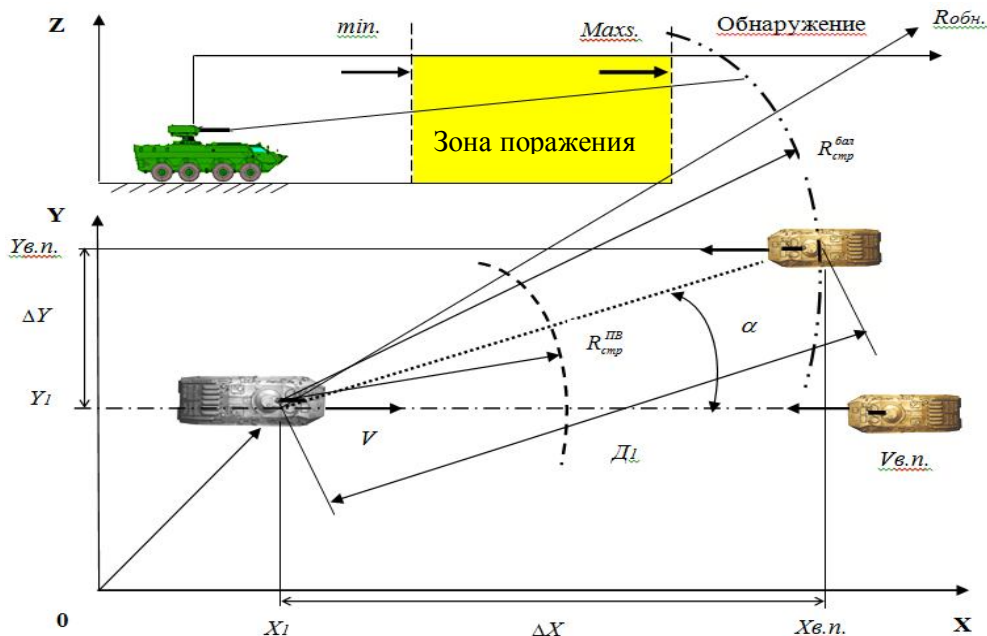


Рис. 3. Схема функционирования бронетанкового вооружения

Рассчитывая вероятности переходов, целесообразно ввести следующие величины. Случайное значение дальности до цели D_1 в момент ее обнаружения:

$$D_1 = \sqrt{\Delta X_1^2 + \Delta Y_1^2}, \quad (5)$$

где

$$\Delta X_1 = X_{исх}^{в.н.} - (V^X + V_{в.н.}^X) \cdot \tau_{обн}; \quad (6)$$

$$\Delta Y_1 = Y_{исх}^{в.н.} - (V^Y + V_{в.н.}^Y) \cdot \tau_{обн}, \quad (7)$$

$\tau_{обн} = t_1 - t_0$; $X_{исх}^{в.н.}$; $Y_{исх}^{в.н.}$ – координаты цели в исходном положении; t_1 – момент обнаружения цели.

Дальность до цели D_2 в момент выдачи целеуказания наводчику t_2 определяется временем идентификации цели $\tau_{ид}$, временем предварительного определения дальности $\tau_D^{предв}$ и временем принятия решения $\tau_{реш}$.

Тогда для абсциссы:

$$\Delta X_2 = \Delta X_1 - (V^X + V_{в.н.}^X)(\tau_{ид} + \tau_D^{предв} + \tau_{реш}); \quad (8)$$

$$t_2 = t_1 + \tau_{ид} + \tau_D^{предв} + \tau_{реш}.$$

Для ΔY_2 определяется аналогично.

Дальность до цели в момент обнаружения цели наводчиком будет зависеть от случайного направления линии визирования прицела наводчиком, при этом время целеуказания $\tau_{цв}$ будет равно времени переброса линии визирования в горизонтальной $\tau_{Г.Н.}$ или вертикальной $\tau_{В.Н.}$ плоскости, при этом модельное время целеуказания будет большим из двух величин:

$$\tau_{В.Н.} = \frac{\alpha_{пуш}}{\omega_{В.Н.}}; \quad \tau_{Г.Н.} = \frac{\beta_{баш}}{\omega_{Г.Н.}},$$

где $\omega_{Г.Н.}$ и $\omega_{В.Н.}$ – перебросочные скорости в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Тогда для абсциссы:

$$\Delta X_3 = \Delta X_2 - (V^X + V_{в.н.}^X) \max[\tau_{В.Н.}; \tau_{Г.Н.}]. \quad (9)$$

ΔY_3 определяется аналогично.

Дальность до цели в момент наведения на цель D_4 будет определяться случайным временем измерения дальности $\tau_D^{изм}$, временем выбора боеприпаса $\tau_{Б.П.}$, временем приведения пушки на угол заряжания $\tau_{У.З.}$, временем подачи выстрела на зарядание $\tau_{под}$, временем заряжания, временем возвращения пушки в направление на цель $\tau_{возв}$:

$$\Delta X_4 = \Delta X_3 - (V^X + V_{в.н.}^X)(\tau_D^{изм} + \tau_{Б.П.} + \tau_{У.З.} + \tau_{под} + \tau_{зар.} + \tau_{возв}). \quad (10)$$

Для ΔY_4 определяется аналогично.

Дальность до цели в момент уточнения и наводки:

$$\Delta X_5 = \Delta X_4 - (V^X + V_{в.н.}^X)\tau_{уточ}. \quad (11)$$

Для ΔY_5 определяется аналогично.

Координата цели в момент выстрела определяется случайным временем $\tau_{снр}$, затрачиваемым наводчиком на сопровождение цели (не менее 2 с) и принятие решения на выстрел:

$$\Delta X_6 = \Delta X_5 - (V^X + V_{в.н.}^X)\tau_{снр}. \quad (12)$$

Для ΔY_6 определяется аналогично.

Координата встречи боеприпаса с целью определяется временем полета снаряда $\tau_{снр}$ и его скоростью, причем V и $V_{Б.П.} \ll V_{снр}$, поэтому:

$$\Delta X_7 = \Delta X_6 - (V_{в.н.}^X + V_{снр.}^X)\tau_{снр}. \quad (13)$$

Чтобы определить численные значения вероятностей переходов, следует определить законы распределения случайных величин. Учитывая, что на каждую из этих величин в реальных условиях влияет большое число факторов, в том числе и уровень подготовки экипажа, можно принять нормальный закон распределения этих величин.

Составим аналитические выражения для вероятностей перехода системы из одного состояния в другое.

Вероятность перехода W_{01} из исходного состояния в состояние $E_{поиск}$ зависит от исправного функционирования всех систем и равна:

$$W_{01} = P_{\phi}, \quad (14)$$

$$W_{01.н.п.} = 1 - W_{01}. \quad (15)$$

Вероятность поиска зависит от вероятности того, что цель находится в радиусе обнаружения, и вероятности обнаружения цели $P_{обн}$:

$$W_{12} = P_{обн} \cdot P(D_{ц} \leq R_0). \quad (16)$$

Соответственно:

$$W_{12.н.п.} = 1 - W_{12}. \quad (17)$$

Вероятность перехода W_{23} из состояния обнаружения $E_{обнар}$ в состояние $E_{навед}$ зависит от вероятности обнаружения $P_{обн}^{нав}$ (наводчик также видит цель) и того, что в это время $D_{ц} \leq [R_{стр}]_{\max}$:

$$W_{нав} = P_{обн}^{нав} P\left(D_{ц} \leq [R_{стр}]_{\max}\right). \quad (18)$$

Вероятность $W_{нав}$ дополняет $W_{нав.н.п.}$ до 1:

$$W_{нав.н.п.} = 1 - W_{нав}. \quad (19)$$

Вероятность перехода W_{tex} из состояния $E_{нав}$ в состояние E_{tex} определяется вероятностью достоверного измерения дальности наводчиком $P_{Д_{дост}}$, вероятностью нахождения в зоне стрельбы $P\left(D \leq [R_{стр}]_{\max}\right)$, вероятностью работоспособности механизма зажигания $P_{МЗ}$, вероятностью наличия боеприпаса требуемого типа $P_{бп}$:

$$W_{tex} = P_{Д_{дост}} P\left(D_{ц} \leq [R_{стр}]_{\max}\right) \cdot P_{МЗ} P_{бп}. \quad (20)$$

Вероятность W_{tex} дополняет вероятность $W_{tex.н.п.}$ до 1:

$$W_{tex.н.п.} = 1 - W_{tex}. \quad (21)$$

Вероятность перехода $W_{уточ.н.}$ из состояния E_{tex} в состояние $E_{уточ.н.}$ определяется вероятностью уточнения наводки с допустимой погрешностью, вероятностью удержания прицельной марки на цели с допустимой погрешностью и вероятностью того, что цель находится в зоне стрельбы $P\left(D_{ц} \leq [R_{стр}]_{\max}\right)$:

$$W_{уточ.н.} = P_{уточ.н.} P_{удер.} P\left(D_{ц} \leq [R_{стр}]_{\max}\right).$$

Эта вероятность дополняет вероятность $W_{стаб.ц.н.п.}$ до 1:

$$W_{стаб.ц.н.п.} = 1 - W_{стаб.ц.} \quad (22)$$

Вероятность перехода $W_{выстр}$ из состояния $E_{уточ.н.}$ в состояние $E_{выстр}$ определяется исправностью цепей стрельбы и механического спуска $P_{tex}^{стр}$ и кондиционностью боеприпаса $P_{б.п.}^{конд}$, а также

вероятностью нахождения цели в радиусе стрельбы $P(D_{ц} \leq [R_{стр}]_{\max})$ и вероятностью нахождения пушки в зоне разрешения выстрела $P_{ЗРВ}$:

$$W_{выстр} = P_{техн}^{стр} \cdot P_{б.п.}^{конд} \cdot P(D_{ц} \leq [R_{стр}]_{\max}) \cdot P_{ЗРВ}.$$

Эта вероятность также дополняет вероятность $W_{выстр.н.п.}$ до 1:

$$W_{выстр.н.п.} = 1 - W_{выстр}. \quad (23)$$

Вероятность в состоянии “цель поражена” определяется вероятностью попадания $P_{попад}$:

$$W_{пораж} = P_{попад}. \quad (24)$$

Эта вероятность и вероятность непоражения составляют полную систему событий, поэтому:

$$W_{н.п.} = 1 - W_{пораж}.$$

Таким образом, вероятность поражения должна зависеть и от нахождения цели в зоне стрельбы, однако, учитывая существенно более высокую скорость снаряда, будем считать, что за время подлета после выстрела цель не успевает покинуть зону стрельбы.

Кроме того, после попадания цель может находиться в двух состояниях: “повреждена”, “не повреждена”. Повреждение может быть классифицировано как “выведена из строя”, “уничтожена”. Ущерб, наносимый противнику, не рассматривается, так как настоящая статья по своей направленности имеет технический характер.

Матрица вероятностей переходов с уже описанным приемом избегания самопоглощающих состояний путем введения параметра α представлена в **таблице**.

Т а б л и ц а

Матрица вероятностей переходов

	E_0	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8
E_0		W_{01}							W_{08}
E_1			W_{12}	W_{13}					W_{18}
E_2				W_{23}					W_{28}
E_3					W_{34}				W_{38}
E_4						W_{45}			W_{48}
E_5							W_{56}		W_{58}
E_6								W_{67}	W_{68}
E_7	α							$1-\alpha$	
E_8	α								$1-\alpha$

Используя преобразования, получены выражения для вероятности поражения $W_{пор}$ и непоражения цели $W_{н.пор}$ через вероятности переходов:

$$W_{пор} = (W_{01}W_{13} + W_{01}W_{12}W_{23})W_{34}W_{45}W_{56}W_{67}; \quad (25)$$

$$W_{н.пор} = 1 - W_{пор} = 1 - (W_{01}W_{13} + W_{01}W_{12}W_{23})W_{34}W_{45}W_{56}W_{67}, \quad (26)$$

которые совместно с выражениями (5–13) позволяют проводить параметрические исследования и определять ТТХ бронетанкового вооружения и влияние различных внешних факторов на эффективность его применения.

Вероятность обнаружения цели является одной из ключевых величин в моделях функционирования БТТ. Этой задаче всегда уделялось огромное внимание [11–15], поскольку необнаруженная цель не только не может быть поражена бронетанковым вооружением, но и представляет большую опасность.

Выводы

Приведенная модель может быть отнесена к начальному уровню с последующим ее развитием и насыщением информации о подсистемах. Также могут быть использованы и дополнительные, так называемые вложенные модели, которые более детально рассматривают функционирование отдельных подсистем. В дальнейшем это будет показано при расчете ошибок в координатах целей, определяемых перспективным комплексом разведки БТГ с дополнительной оптико-акустической подсистемой выявления наземных неподвижных целей.

Список использованных источников

1. Абчук, В. А. Поиск объектов [Текст] / В. А. Абчук, В. Г. Суздаль. – М. : Сов. радио, 1977. – 336 с.
2. Анипко, О. Б. Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники [Текст] : монография / О. Б. Анипко, М. Д. Борисюк, Ю. М. Бусяк. – Х. : НТУ “ХПИ”, 2008. – 196 с.
3. Борисюк, М. Д. Модернизация танкового парка сухопутных войск – насущная задача в процессе реформирования Вооруженных Сил Украины [Текст] / М. Д. Борисюк, Ю. М. Бусяк, Л. К. Магерамов // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2005. – № 2. – С. 101–104.
4. Бусяк, Ю. М. От конкуренции – к интеграции: перспективные направления сотрудничества со странами НАТО в области бронетанковых и артиллерийских систем вооружения [Текст] / Ю. М. Бусяк, О. Б. Анипко, В. В. Заозерский // Збірник наукових праць ХУПС. – 2006. – Вып. 2(8). – С. 37–39.
5. Аніпко, О. Б. Акустичні властивості атмосфери [Текст] / О. Б. Аніпко, І. Ю. Бірюков, М. М. Дивізійнюк // Сборник научных трудов СНУЯЕ и П. – 2010. – Вып. № 4 (36). – С. 239–244.
6. Анипко, О. Б. Звуковые портреты объектов бронетехники для обнаружения и распознавания целей [Текст] / О. Б. Анипко, И. Ю. Бирюков, Ю. М. Бусяк // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2011. – № 3. – С. 31–36.
7. Раскин, Л. Г. Оценивание параметров марковских моделей функционирования сложных систем [Текст] / Л. Г. Раскин. – М. : Научный совет по комплексной проблеме “Кибернетика”, 1980. – С. 143–145.
8. Горбунов, В. А. Эффективность обнаружения целей [Текст] / В. А. Горбунов. – М. : Воениздат, 1979. – 160 с.
9. Костенко, Ю. Т. Прогнозирование технического состояния систем управления [Текст] / Ю. Т. Костенко, Л. Г. Раскин. – Х. : Основа, 1996. – 303 с.
10. Раскин, Л. Г. Математическое моделирование функционирования сложных систем [Текст] / Л. Г. Раскин. – Х. : ВИРТА, 1988. – 178 с.
11. Анипко, О. Б. Комплексная проблема поиска и обнаружения наземных целей для их поражения вооружением, установленным на объектах бронетехники [Текст] / О. Б. Анипко, И. Ю. Бирюков, Ю. М. Бусяк // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – 2011. – Вып. № 2(18). – С. 43–47.
12. Анипко, О. Б. Энергетическая дальность обнаружения шумящих объектов [Текст] / О. Б. Анипко, И. Ю. Бирюков, В. А. Малик // Сборник научных трудов СНУЯЭ и П. – 2011. – Вып. № 1(37). – С. 231 – 236.
13. Анипко, О. Б. Модель разведки противника для повышения технических характеристик системы управления огнем танка [Текст] / О. Б. Анипко, Ю. М. Бусяк, И. Ю. Бирюков // Системи озброєння і військова техніка. – 2012. – Вып. № 2. – С. 107–110.
14. Анипко, О. Б. Аналитическая марковская модель функционирования комплекса вооружения танка [Текст] / О. Б. Анипко, Ю. М. Бусяк, И. Ю. Бирюков // Системи озброєння і військова техніка. – 2012. – Вып. № 3. – С. 2–5.
15. Бирюков, И. Ю. Маскировочная окраска наземных объектов и методы их распознавания [Текст] / И. Ю. Бирюков // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2013. – № 2. – С. 101–109.

Стаття надійшла до редакції 24.05.2013 р.