

# Кібернетика та системний аналіз

УДК 355.40

О.Б. Анипко<sup>1</sup>, Ю.М. Бусяк<sup>2</sup>, И.Ю. Бирюков<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

<sup>2</sup>КП ХКБМ им. А.А. Морозова, Харьков

<sup>3</sup>Академия внутренних войск МВД Украины, Харьков

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ МАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ВООРУЖЕНИЯ ТАНКА

*В статье предложена аналитическая марковская модель функционирования вооружения танка.*

**Ключевые слова:** процесс функционирования танкового вооружения, циклограмма подготовки стрельбы, граф аналитической модели использования бронетанковой техники, матрица переходов.

### Введение

Необходимость разработки новых и развития известных методов моделирования стимулируется непрерывным возрастанием сложности, масштабности, комплексности проблем при создании перспективных образцов, 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]. Однако, такой уровень уже не удовлетворяет стремительно развивающуюся динамику теории вооруженной борьбы в целом.

На современном этапе задачи моделирования в целостной теории вооруженной борьбы стоят гораздо шире, и могут быть охарактеризованы двумя фундаментальными направлениями:

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

– создания объединений, соединений, частей, сил и средств, обеспечивающих решение боевых задач;

– изучение процесса функционирования противоборствующих сторон как проблемной ситуации, начиная с единичного объекта вооружения или техники;

– разработки и реализации рациональных способов управления боевыми системами, а также прогнозирования и выявления тенденций развития и необходимых боевых и технических характеристик систем оружия и военной техники;

– решения конкретных задач с учетом выявленных закономерностей, вплоть до создания государственной программы вооружений и подготовки сил.

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

Сопоставляя эти два направления, представляется очевидным, что успех реализации 1-го направления практически полностью зависит от степени совершенства 2-го направления. Здесь необходимо подчеркнуть, что в общетеоретическом смысле эти направления до определенного уровня могут рассматриваться как независимые задачи, однако в настоящее время именно уровень оснащенности современным вооружением и техникой определяют тактику, оперативное искусство, стратегию, в конечном итоге успех в целом [2].

Таким образом, с точки зрения теории вооруженной борьбы оценку эффективности решения боевой задачи только традиционными критериями вероятности уничтожения или математического ожидания поражения цели (целей) уже нельзя признать полной и достаточной.

Также следует признать, что полностью отказываться от вероятных оценок на современном этапе не следует [2 – 4], поскольку именно они позволяют осредненно прогнозировать решение боевой задачи, без учета случайных факторов (событий, не поддающихся прогнозу регулярными методами), могущих иногда решающим образом, кардинально повлиять на исход боевой ситуации, что и составляет искусство военного дела. При этом, самым существенным недостатком вероятностных методов следует считать отсутствие воз-

возможности оценить влияние отдельных факторов и характеристик на исход моделируемой ситуации, а также оценить варианты этих исходов.

Однако, если вероятности переходов системы из одного состояния в другое или наступление событий представить в виде функций характеристик объекта вооружения и параметров окружающей среды, то представляется возможным в принципе преодолеть указанные недостатки с последующим анализом достоверности полученных результатов.

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

В недавней публикации [7] рассматривается такая задача применительно к функционированию образца БТТ. Прежде чем проанализировать работу по сути отметим, что автор допускает ряд терминологических вольностей, таких как “Почти в реальном масштабе времени...” и другие, которые не конкретизируют задачу, а размывают исходные представления об анализируемом процессе. Следует подчеркнуть, что уже на этапе постановки задачи не ясно зачем он хочет учитывать показатели информационно-управляющих систем. Как известно система по своему иерархическому положению стоит над образцом, поэтому образцы находящиеся на нижнем иерархическом уровне и призваны для того, чтобы реализовать те или иные свойства системы.

Основным в процессе функционирования танкового вооружения является разведка и обнаружение целей. Однако именно этот ключевой момент автором не отражается, а задается известный наперед поток целей. Приведенная в статье так называемая типовая циклограмма подготовки стрельбы из танка [7] не выдерживает критики в связи с тем, что длительность обнаружения цели командиром, наводчиком при стрельбе как с места, так и с ходу, представлены как равные. Практически известно, что процессы обнаружения с места и с ходу существенно разнятся по затратам времени. При этом на процессы обнаружения с ходу существенно влияет скорость движения машины. Эти факторы автором даже не рассматриваются.

И в завершении анализа этой публикации отметим, что приведенный граф функционирования образца БТТ не содержит самопоглощающих состояний и в нем не отражены процессы не выполнения условий перехода в следующее состояние, а также невыполнения отдельных событий. Поэтому приведенная в публикации [7] модель не может быть использована для получения числовых ре-

зультатов, а следовательно и решения поставленной задачи, в целом носит отрывочный, незавершенный характер.

В этой связи считаем целесообразным привести пооперационную последовательность при стрельбе и модель, которая, не претендуя на полноту, лишена вышеуказанных недостатков, а самое главное, позволяет получать численные результаты.

Отметим, что различают:

- длительность цикла подготовки стрельбы;
- время подготовки выстрела.

При этом циклограмма подготовки стрельбы включает события:

- начало поиска;
- цель обнаружена;
- решение на стрельбу;
- подготовка первого выстрела;
- выстрел;
- решение на стрельбу (завершить или продолжить).

На переход от одного события к другому при этом затрачиваются следующие интервалы времени (рис. 1):

- $t$  поиска;
- $t$  опознания цели +  $t$  целеуказания;
- $t$  прицеливания;
- $t$  заряжания +  $t$  измерения дальности +  $t$  уточнения наводки;
- $t$  контроля результатов стрельбы;
- $t$  подготовки последующего выстрела.

Рассмотрим аналитическую марковскую модель функционирования объекта [8] БТТ, включающую следующие события:

$E_{исх}$  – исходное состояния БТТ в районе сосредоточения;

$E_{марш}$  – марш из исходного района к месту вероятного боя;

$E_{о.п.}$  – обнаружение противника;

$E_{п.о.}$  – бой, применение оружия;

$E_{пор}$  – поражение противника, боевая задача выполнена;

$E_{н.п.}$  – непоражение противника, задача не выполнена.

Вероятность перехода системы из состояния  $E_{исх}$  в состояние  $E_{марш}$  определяется средствами разведки и работой штаба верхнего иерархического уровня, задачи эффективности работы которых в модели не рассматриваются.

Поэтому в модельной задаче будем полагать  $P_{исх}=1,0$  – задача поставлена или  $P_{исх}=0$  – техника остается в местах сосредоточения, противник не обнаружен.

Тогда будем считать

$$W_0 = P_{исх} \cdot \quad (1)$$

В общем случае вероятность  $W_0$  дополняет  $W_{0\text{ н.п.}}$  до единицы

$$W_{0\text{ н.п.}} = 1 - W_0 \quad (2)$$

Вероятность выполнения марша до обнаружения противника определяется технической надежностью той части системы, которая обеспечивает мобильность (двигатель, трансмиссия, движитель), а также уровнем подготовки и психофизиологическим состоянием экипажа.

Строго говоря, психофизиологическое состояние экипажа в ходе марша может существенно изменяться, чем оказывать влияние на боеспособность [2, 4]. Однако исследование этих вопросов выходит за рамки настоящей работы, поэтому не будем учитывать состояние операторов.

Тогда

$$W_{\text{марш}} = P_{\text{тех.над}} \quad (3)$$

Соответственно для  $W_{\text{марш}}$  и  $W_{\text{н.п.марш}}$ :

$$W_{\text{марш.н.п.}} = 1 - W_{\text{марш}} \quad (4)$$

Вероятность перехода из состояния  $E_{\text{марш}}$  в  $E_{\text{о.п.}}$  определяется вероятностью обнаружения цели [1, 2, 9]

$$W_{\text{о.п.}} = P_{\text{о.п.}}, \quad (5)$$

и

$$W_{\text{оп н.п.}} = 1 - P_{\text{о.п.}}, \quad (6)$$

Вероятность перехода из  $E_{\text{о.п.}}$  в состояние  $E_{\text{п.о.}}$  определяется технической надежностью МЗ, пушки, а также СУО, что в совокупности определяет вероятность применения оружия, тогда

$$W_{\text{п.о.}} = P_{\text{п.о.}}, \quad (7)$$

$$W_{\text{п.о. н.п.}} = 1 - P_{\text{п.о.}}, \quad (8)$$

Наконец, вероятность перехода из  $E_{\text{п.о.}}$  в  $E_{\text{пор}}$  или  $E_{\text{н.п.}}$  определяется вероятностью попадания в цель

$$W_{\text{пор.}} = P_{\text{попад}}, \quad (9)$$

$$W_{\text{пор н.п.}} = 1 - W_{\text{пор.}}, \quad (10)$$

Состояние поражения и непоражения, как взаимно исключающие события связаны соотношением

$$W_{\text{н.п.}} = 1 - W_{\text{пор.}} \quad (11)$$

Приведенная система уравнений (1) – (11) справедлива для условия отсутствия противодействия. Чтобы учесть противодействие противника введем вероятность не поражения на марше  $P_{\text{пм}}^{\text{пр}}$  и вероятность противодействия оружию  $P_{\text{ор}}^{\text{пр}}$ . С учетом этого вероятности переходов запишутся

$$W_{\text{марш}} = P_{\text{тех.над}} \cdot P_{\text{пм}}^{\text{пр}}; \quad (12)$$

$$W_{\text{о.п.}} = P_{\text{о.п.}} \cdot P_{\text{ор}}^{\text{пр}} \cdot P_{\text{пм}}^{\text{пр}}; \quad (13)$$

$$W_{\text{п.о.}} = P_{\text{п.о.}} \cdot P_{\text{ор}}^{\text{пр}} \cdot P_{\text{пм}}^{\text{пр}}; \quad (14)$$

$$W_{\text{пор.}} = P_{\text{попад}} \cdot P_{\text{ор}}^{\text{пр}} \cdot P_{\text{пм}}^{\text{пр}}. \quad (15)$$

Граф аналитической марковской модели представлен на рис. 2, а матрица переходов – в табл. 1.

Как видно из табл. 1, она содержит вероятности переходов из поглощающих состояний в исходное, что соответственно уменьшает вероятность перехода для этих состояний в себя.

Таблица 1

Матрица переходов

	$E_{\text{исх}}^0$	$E_{\text{марш}}^1$	$E_{\text{о.п.}}^2$	$E_{\text{п.о.}}^3$	$E_{\text{пор.}}^4$	$E_{\text{н.п.}}^5$
$E_{\text{исх}}^0$		$W_{01}$				$W_{05}$
$E_{\text{марш}}^1$			$W_{12}$			$W_{15}$
$E_{\text{о.п.}}^2$				$W_{23}$		$W_{25}$
$E_{\text{п.о.}}^3$					$W_{34}$	$W_{35}$
$E_{\text{пор.}}^4$	$\alpha$				$1-\alpha$	
$E_{\text{н.п.}}^5$	$\alpha$					$1-\alpha$

Такой прием разработан профессором Раскиным Л.Г. [10, 11], и применяется для реализации возможности решения системы, избегая поглощающих состояний, когда бы в ячейках содержащих  $(1-\alpha) \neq 1$ , стояли бы 1.

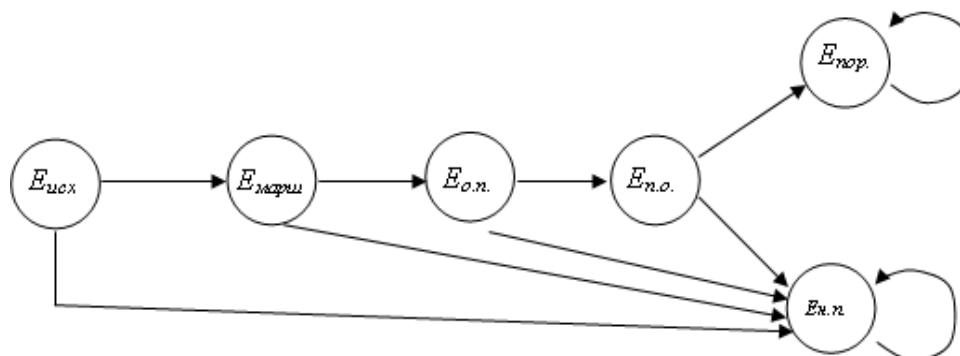


Рис. 2. Граф аналитической модели использования БТТ

С учетом этого система линейных алгебраических уравнений имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pi_0(\alpha) = \alpha \Pi_4(\alpha) + \Pi_5(\alpha); \\ \Pi_1(\alpha) = \Pi_0(\alpha) \cdot W_{01}; \\ \Pi_2(\alpha) = \Pi_1(\alpha) \cdot W_{12}; \\ \Pi_3(\alpha) = \Pi_2(\alpha) \cdot W_{23}; \\ \Pi_4(\alpha) = \Pi_3(\alpha) \cdot W_{34} + (1-\alpha) \cdot \Pi_4(\alpha); \\ \Pi_5(\alpha) = \Pi_0(\alpha) \cdot W_{05} + \Pi_5(\alpha) \cdot W_{15} + \Pi_2(\alpha) \cdot W_{25} + \\ + \Pi_3(\alpha) \cdot W_{35} + (1-\alpha) \Pi_5(\alpha). \end{array} \right. \quad (16)$$

Учитывая то, что

$$\lim_{\alpha \rightarrow 0} \Pi_2(\alpha) + \Pi_8(\alpha) = 1, \quad (17)$$

после преобразований окончательно получим:

$$\Pi_4 = W_{01} \cdot W_{12} \cdot W_{23} \cdot W_{34}. \quad (18)$$

Здесь следует отметить, что в свою очередь вероятности переходов являются функциями технической надежности  $P_{\text{техн}}$ , вероятности обнаружения  $P_{\text{о.п.}}$ , которая в свою очередь является функцией технических характеристик, дальности до цели и состояния окружающей среды; вероятность применения оружия  $P_{\text{п.о.}} = f(P_{\text{мз}}, P_{\text{пушки}}, P_{\text{ц.у.}})$ , кроме того  $P_{\text{попад}}$  определяется пятью группами ошибок системы "пушка + снаряд" и СУО. Включение перечисленных функций в выражение (18) с последующим ее параметрическим исследованием позволяют аналитически исследовать влияние ТТХ и параметров окружающей среды на эффективность объекта БТТ.

### Выводы

Здесь следует подчеркнуть, что приведенная модель может быть отнесена к начальному уровню, с последующим ее развитием и насыщением информации о подсистемах [5, 12]. Кроме того, могут быть использованы и дополнительные, так называемые вложенные модели, которые более детально рассматривают функционирование отдельных подсистем, что будет показано в дальнейшем на модели функционирования бронетанкового вооружения.

### АНАЛІТИЧНА МАРКІВСЬКА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОЗБРОЄННЯ ТАНКА

О.Б. Аніпко, Ю.М. Бусяк, І.Ю. Бірюков

*Запропоновано аналітичну марківську модель функціонування озброєння танка.*

**Ключові слова:** процес функціонування танкового озброєння, циклограма підготовки стрільби, граф аналітичної моделі використання броньованої техніки, матриця переходів.

### ANALYTICAL MARKOV MODEL OF THE WEAPON SYSTEM OF THE TANK

O.B. Anipko, Yu.M. Bysak, I.Yu. Birukov

*An analytical markov model of the weapon system of the tank.*

**Keywords:** the process of functioning tank weapons, cyclogram preparation of fire, the graph an analytic models of armored vehicles, transition matrix.

### Список литературы

1. Абчук В.А. Поиск объектов / В.А. Абчук, В.Г. Суздаль. – М.: Сов. радио, 1977. – 336 с.
2. Анипко О.Б. Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники: моногр. / 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 / М.Д. Борисюк, Ю.М. Бусяк, Л.К. Магеромов // 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 / Ю.М. Бусяк, О.Б. Анипко, В.В. Заозерский // Зб. наук. пр. ХУПС. – 2006. – 2(8) – С. 37-39.
5. Анипко О.Б. Звукове портрети объектов бронетехники для обнаружения и распознавания целей / О.Б. Анипко, И.Ю. Бірюков, Ю.М. Бусяк // Интегрированные технологии и энергосбережение. – Х., 2011. – Вып. № 3. – С. 31-36.
6. Энергетическая дальность обнаружения шумящих объектов / О.Б. Анипко, И.Ю. Бірюков, В.А. Малик, В.Н. Григорьева // Сборник научных трудов СНУЯЭиП. – Севастополь, 2011. – Вып. 1(37). – С. 231-236.
7. Васьковский М.И. Математическая модель функционирования образца бронетанкового вооружения, оснащенного информационно-управляющей системой / М.И. Васьковский // Артиллерийское и Стрелковое Вооружение. – К., 2011. – Вып. № 1(38). – С. 6-11.
8. Раскин Л.Г. Оценка параметров марковских моделей функционирования сложных систем / Л.Г. Раскин. – М.: Научный совет по комплексной проблеме "Кибернетика", 1980. – С. 143-145.
9. Горбунов В.А. Эффективность обнаружения целей / В.А. Горбунов. – М.: Воен. Изд., 1979. – 160 с.
10. Костенко Ю.Т. Прогнозирование технического состояния систем управления / Ю.Т. Костенко, Л.Г. Раскин. – Х.: Основа., 1996. – 303 с.
11. Раскин Л.Г. Математическое моделирование функционирования сложных систем / Л.Г. Раскин. – Х.: ВИРТА, 1988. – 178 с.
12. Анипко О.Б. Комплексная проблема поиска и обнаружения наземных целей для поражения вооружением, установленным на АВВ МВС Украины / О.Б. Анипко, И.Ю. Бірюков, Ю.М. Бусяк // Зб. наук. пр. АВВ МВС. – Вып. № 2(18). – Х., 2011. – С. 24-31.

Поступила в редколлегию 14.02.2012

**Рецензент:** канд. техн. наук, доц. И.Б. Ковтонюк, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.