Математика и математическое моделирование. 2020. № 03. С. 29 – 42.

DOI: **10.24108/mathm.0320.0000225**

Математика и Математическое моделирование

Сетевое научное издание

http://mathmelpub.ru ISSN 2412-5911

УДК 519.711.2

Математическая модель однопользовательской компьютерной игры, воспроизводящей дуэльный бой танков

Сердюков В.И.[1], **Сердюкова Н.А.**[2], **Шишкина С.И.**[1,*]

[1]МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
[2]Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

[*]shish-bmstu@mail.ru

В совершенствовании однопользовательских компьютерных игр, воспроизводящих бой танков, можно выделить две задачи. Одна из них состоит в увеличении коллекции игровых средств, представляющих собой по утверждению разработчиков игр виртуальные прототипы реальных образцов танков, состоящих или бывших на вооружении армий различных стран. Другая задача заключается в обеспечении реалистичности игры: соответствия возможностей виртуальных танков, участвующих в игре, боевым возможностям их реальных прототипов на поле боя. Для решения этих задач необходим инструмент, позволяющий сопоставить игровые возможности виртуальных марок танков с боевыми возможностями их реальных прототипов, в качестве которого можно использовать математическую модель компьютерной игры, воспроизводящую дуэльный бой танков.

Ключевые слова: компьютерная игра, дуэльный бой, математическая модель, Марковский случайный процесс

Представлена в редакцию: 14.05.2020, исправлена 28.05.2020

Введение

В настоящее время разработано большое количество различных однопользовательских компьютерных игр, относящихся к жанру танковых симуляторов (к ним относятся игры под названиями: «Т-72: Балканы в огне»; «Panzer Elite»; «Tank Combat»; «Theatre of War 2: Kursk, 1943»; «World War II, Battle Tanks T-34 vs. Tiger»; «World of Tanks» и многие другие). Росту их популярности способствует разнообразие используемых в игре виртуальных образцов танков. В компьютерной игре: «World of Tanks» количество таких образцов приближается к 400. При этом по утверждению разработчиков игры их прототипами являются реальные марки танков, начиная с тех, что состояли на вооружение армий Великобритании, Германии, Китая, СССР, США, Франции, Чехословакии, Швеции и Японии в канун Второй Мировой войны, и заканчивая российским танком Т-14 «Армата», признавая одновременно, что слабым местом всех таких игр является их реалистичность [1]. Здесь уместно отметить, что реалистичность определяется не тем, что названия виртуальных боевых машин будут совпадать с названиями известных в танкостроении образцов танков, а тем, что игровые возможности виртуальных танков, участвующих в игре (вероятности исходов дуэльных боев и их продолжительности), будут соответствовать боевым возможностям их реальных прототипов на поле боя. Это проблема, один из способов решения которой состоит в разработке такой математической модели боя, по которой можно было бы осуществить подбор входных параметров виртуальных танков противодействующих сторон. Эта модель должна представлять собой математическую модель однопользовательской компьютерной игры, воспроизводящей дуэльный бой танков. Из того, что речь идет об однопользовательских играх, где игрок может управлять действиями только одного виртуального танка, следует, что в качестве такой модели может использоваться модель дуэльного боя танков. Архивные документы Второй Мировой войны содержат много сообщений с описанием танковых дуэлей, оказавших существенное влияние на ход дальнейших боевых действий на тактическом уровне. Так, экипаж советского танка КВ-1 (командир – Гудзь П. Д.), ликвидировал 26 ноября 1941 года прорыв противника у деревни Нефедьево Красногорского района Московской области, подбив в дуэльных боях 10 танков противника [2]. Подобные дуэли принято называть классическими примерами боя танков [3 - 5], а один из них был принят за основу сценария художественного фильма (дуэль советского танка Т-34 под командованием Милюкова А.И. с немецким танком T-V «Пантера», состоявшаяся летом 1943 года под городом Харьков, положенная в основу сценария советского художественного фильма «Экипаж машины боевой», снятого на Одесской киностудии в 1983 году).

Математическая модель дуэльного боя танков, предназначенная для решения данной проблемы, должна удовлетворять следующим требованиям.

1. Последовательность операций, воспроизводимых в модели, должна соответствовать последовательности операций, реализуемых игроком в процессе игры (обнаружение противодействующего танка и последовательное производство по нему пушечных выстрелов - выстрел к танковой пушке или пушечный выстрел будет также называть боеприпасом,- до тех пор, пока цель не будет поражена).
2. Максимальное количество боеприпасов, которое может использоваться танком в модели, должно соответствовать размеру боекомплекта танка.

Выдвигая эти требования, уместно отметить, что размеры боекомплектов танков, выпускавшихся в ходе Второй Мировой войны, были большими. Здесь и далее под боекомплектом понимается количество выстрелов к танковой пушке, установленное для танка. В боекомплект советского танка КВ-1, образца 1941 года, входило 114 выстрелов к 76,2-мм нарезной танковой пушке Ф-32; в боекомплект советского танка КВ-1С, образца 1942 года, - 114 выстрелов к 76,2-мм нарезной танковой пушке ЗИС-5; в боекомплект советского танка Т-34-76, образца 1941 года, - 77 выстрелов к 76,2-мм нарезной танковой пушке Ф-34 [6]. Поэтому допущение об отсутствии ограничений на расход боеприпасов, использовавшееся при разработке компьютерных игр, воспроизводящих боевые действия танков периода Второй Мировой войны, было приемлемым.

Однако и тогда были случаи, когда экипажам танков не хватало имевшихся в боекомплекте боеприпасов (Советский танк Т-34 (Соколов А. И., Чернышенко В. С.), бой у деревни Демешково Невельского района Псковской области 17-30 декабря 1943 г.; советский танк ИС-2 (Шашков Г.П.), бой в районе местечка Грабовска Воля в Польше 15 января 1945 г.) [7]. Частота возникновения таких случаев не известна, но они, к сожалению, были. Иногда у танкистов появлялась возможность для загрузки боеприпасов сверх боекомплекта, и они ее использовали. Так поступил, к примеру, экипаж советского танка КВ-1 (командир танка – Колобанов З. Г.; командир орудия – Усов А. М.), который, загрузив в свой танк два боекомплекта боеприпасов, подбил 20 августа 1941 года у совхоза Войсковицы Гатчинского района Ленинградской области 22 немецких танка [2].

В отличие от советских танков КВ-1 и Т-34-76, количество боеприпасов в боекомплектах танков послевоенных поколений существенно уменьшено. Так, например, в боекомплект советского танка Т-54, образца 1947 года, входило 34 выстрелов к 100-мм нарезной танковой пушке Д-10-Т (16 осколочно-фугасных, 6 кумулятивных и 12 бронебойных); в боекомплект советского танка Т-62 – 40 выстрелов к 115-мм гладкоствольной танковой пушке Д10-Т2С (16 осколочно-фугасных, 8 бронебойно-кумулятивных и 16 бронебойно-подкалиберных) [8]; в боекомплект российского танка Т-90С – 42 пушечных выстрелов к 125-мм танковой пушке 2А46М (бронебойно-подкалиберные, бронебойно-кумулятивные, осколочно-фугасные выстрелы и управляемые ракеты), из которых в автомате заряжания размещается 22 боеприпаса [9]. К этому следует добавить, что расход боеприпасов танком зависит от многих факторов, в том числе от умелого использования дуэлянтами тактических свойств местности, оказывающих существенное влияние на вероятность попадания танкового снаряда (ракеты) в цель и вероятность поражения им цели при попадании.

К сожалению, ни одна из математических моделей, представленных в [10-15], этим требованиям не соответствует, что и обусловило актуальность постановки и решения следующей задачи.

1. Постановка задачи

Пусть имеет место дуэльный бой между двумя средствами вооружённой борьбы, одно из которых условно назовём танком стороны A, а второе - танком стороны B. При этом под танком стороны B будем понимать не только танк, но и любое иное противотанковое средство, поражаемое танком стороны A огнём из танковой пушки. Танк стороны A может использовать в дуэльном бою m выстрелов, а танк стороны B – n выстрелов. Дуэль продолжается до тех пор, пока не будет поражён один из танков, или пока не будут израсходованы все имеющиеся для поражения противника пушечные выстрелы. В такой ситуации у противоборствующих танков есть еще возможность поразить противника танковым тараном. Однако возможность такого поражения противника в данной модели не рассматривалась, в том числе потому, что количество таких танковых таранов в годы Второй Мировой войны было небольшим и исчисляется в единицах.

В ходе боя экипаж танка каждой из сторон должен последовательно выполнить следующие операции:

– обнаружить противодействующий танк;
– произвести по обнаруженному противодействующему танку последовательно первый, второй и последующие выстрелы до тех пор, пока цель не будет поражена или не будут израсходованы все имеющиеся для этого выстрелы.
– Необходимо найти вероятности возможных исходов дуэльного боя, математическое ожидание его продолжительности, математическое ожидание расхода боеприпасов каждой из сторон, а также распределения вероятностей случайных величин:
– количества боеприпасов, израсходованных экипажем каждого танка в случае его победы в дуэльном бою;
– количества боеприпасов, имевшихся в каждом танке в момент его поражения.

При решении поставленной задачи будем исходить из того, что боеспособность каждого из танков не меняется до тех пор, пока он не поражён (боеспособность здесь рассматривается без учёта имеющихся у танка выстрелов). Множество состояний системы, в которой может развиваться дуэльный бой танков, определяется в соответствии с последовательностью осуществления противодействующими сторонами указанных операций. При этом поток событий, возникающий при переходе процесса из каждого текущего состояния системы в смежные, можно приближенно считать простейшим. Значения интенсивностей перехода процесса в новое состояние системы определяются, исходя из её текущего состояния, боевых и технических характеристик танков, позиций, с которых они ведут огонь, и другими тактических свойств местности. Возможность обстрела танками ложных целей, как и возможность поражения в дуэльном бою обоих дуэлянтов будем считать пренебрежимо малой.

2. Решение

В соответствии с постановкой задачи, её решение может быть получено путём построения математической модели по схеме Марковского случайного процесса с дискретными состояниями и непрерывным временем. Множество состояний системы S, на котором развивается процесс боя, можно представить в следующем виде

$$S = S_t \cup S_A \cup S_B \cup S_C,$$

где S_t − подмножество невозвратных состояний системы,

$$S_t = \{(i,j) |\ i = \overline{-1,m}, \qquad j = \overline{-1,n}, \qquad i \neq m \wedge j \neq n\};$$

(i,j) − состояние системы, в котором экипаж танка А осуществляет очередную операцию под условным номером i, а экипаж танка В – операцию под условным номером j. Каждый номер может принимать целочисленные значения: -1 (поиск цели); 0 (подготовка и производство первого выстрела); 1 (подготовка и производство второго выстрела) и т. д.;

$S_A -$ подмножество поглощающих состояний, соответствующих случаю, когда танк стороны А поразил танк стороны В; $S_A = \{(i\Pi, j)|\ i = \overline{1, m},\ j = \overline{-1, n}\}$;

$(i\Pi, j) -$ поглощающее состояние системы, соответствующее случаю, когда танк стороны А поразил i-м выстрелом танк стороны В;

$S_B -$ подмножество поглощающих состояний, соответствующих случаю, когда танк стороны В поразил танк стороны А; $S_B = \{(i, j\Pi)|\ i = \overline{-1, m},\ j = \overline{1, n}\}$;

$(i, j\Pi) -$ поглощающее состояние системы, соответствующее случаю, когда танк стороны В поразил j-м выстрелом танк стороны А;

$S_\text{C} -$ подмножество поглощающих состояний, состоящее из одного состояния, соответствующего случаю, когда оба танка израсходовали все имевшиеся у них выстрелы; $S_C = \{(m, n)\}$.

Граф состояний системы, в которой будет развиваться процесс дуэльного боя, представлен на рис. 1.

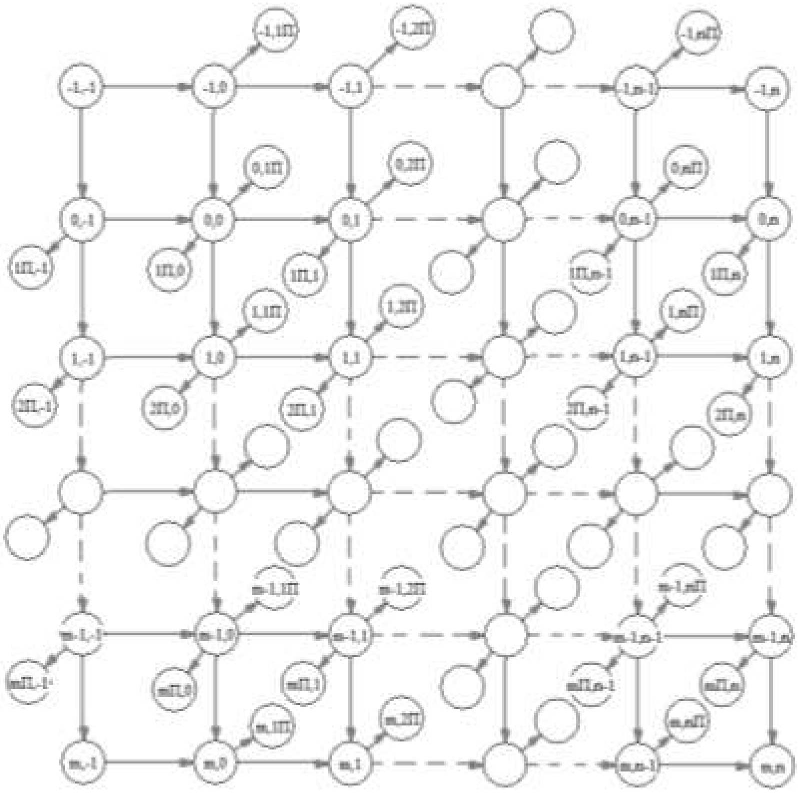

Рис. 1. Граф состояний системы, в которой развивается процесс дуэльного боя танка стороны А с танком стороны В.

Система дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена, описывающая данный случайный процесс (далее – система уравнений), состоит из следующих $3 \cdot m \cdot n + 4 \cdot (m + n + 1)$ дифференциальных уравнений. Количество дифференциальных уравнений определяется числом состояний, представленных на рис. 1, или, что тоже, количеством элементов множества S

$$\begin{cases}
\dfrac{\mathrm{d}P_{(-1,-1)}[t]}{\mathrm{d}t} = -\lambda_{(-1,-1)} \cdot P_{(-1,-1)}[t]; \\
\dfrac{\mathrm{d}P_{(i,-1)}[t]}{\mathrm{d}t} = -\lambda_{(i,-1)} \cdot P_{(i,-1)}[t] + \lambda_{(i-1,-1)2} \cdot P_{(i-1,-1)}[t], \qquad i = \overline{0,m}; \\
\dfrac{\mathrm{d}P_{(-1,j)}[t]}{\mathrm{d}t} = -\lambda_{(-1,j)} \cdot P_{(-1,j)}[t] + \lambda_{(-1,j-1)1} \cdot P_{(-1,j-1)}[t], \qquad j = \overline{0,n}; \\
\dfrac{\mathrm{d}P_{(i,j)}[t]}{\mathrm{d}t} = -\lambda_{(i,j)} \cdot P_{(i,j)}[t] + \lambda_{(i,j-1)1} \cdot P_{(i,j-1)}[t] + \lambda_{(i-1,j)2} \cdot P_{(i-1,j)}[t], \\
\qquad\qquad i = \overline{0,m}, \qquad j = \overline{0,n}, \qquad i \neq m \vee j \neq n; \\
\dfrac{\mathrm{d}P_{(i,j\Pi)}[t]}{\mathrm{d}t} = \lambda_{(i,j-1)3} \cdot P_{(i,j-1)}[t], \qquad i = \overline{-1,m}, \qquad j = \overline{1,n}; \\
\dfrac{\mathrm{d}P_{(i\Pi,j)}[t]}{\mathrm{d}t} = \lambda_{(i-1,j)4} \cdot P_{(i-1,j)}[t], \qquad i = \overline{1,m}; \ j = \overline{-1,n}; \\
\dfrac{\mathrm{d}P_{(m,n)}[t]}{\mathrm{d}t} = \lambda_{(m,n-1)1} \cdot P_{(m,n-1)}[t] + \lambda_{(m-1,n)2} \cdot P_{(m-1,n)}[t].
\end{cases}$$

где $P_{(i,j)}[t]$, $i = \overline{-1,m}$, $j = \overline{-1,n}$; $P_{(k,l\Pi)}[t]$, $k = \overline{-1,m}$, $l = \overline{1,n}$; $P_{(r\Pi,s)}[t]$, $r = \overline{1,m}$, $s = \overline{-1,n}$ – вероятности пребывания системы в момент времени t в состояниях (i,j), $(k,l\Pi)$ и $(r\Pi,s)$ соответственно;

$\lambda_{(i,j)}$ − сумма интенсивностей, с которыми система может покинуть состояние (i,j), перейдя из него в одно из смежных состояний;

$\lambda_{(i,j)1}$ − интенсивность перехода процесса из состояния (i,j) в состояние $(i,j+1)$;

$\lambda_{(i,j)2}$ − интенсивность перехода процесса из состояния (i,j) в состояние $(i+1,j)$;

$\lambda_{(i,j)3}$ − интенсивность перехода процесса из состояния (i,j) в состояние $(i,(j+1)\Pi)$;

$\lambda_{(i,j)4}$ − интенсивность перехода процесса из состояния (i,j) в состояние $\big((i+1)\Pi,j\big)$.

В данную систему уравнений можно включить ещё одно уравнение

$$\sum_{i=-1}^{m}\sum_{j=-1}^{n} P_{(i,j)}[t] + \sum_{k=-1}^{m}\sum_{l=1}^{n} P_{(k,l\Pi)}[t] + \sum_{r=1}^{m}\sum_{s=-1}^{n} P_{(r\Pi,s)}[t] = 1.$$

Начальное условие для нахождения решения данной системы уравнений заключалось в том, что при $t = 0$ вероятность $P_{(-1,-1)}[t] = 1$, вероятности пребывания системы в других состояниях равны 0.

Решение данной системы уравнений позволило получить формульные выражения для расчёта:

– вероятности каждого состояния системы, в которой развивается процесс боя, в произвольный момент времени при любых конечных значениях m и n.
– предельных вероятностей достижения процессом каждого из поглощающих состояний системы при любых конечных значениях m и n.

Эти формульные выражения, имеющие в общем случае весьма громоздкий вид, легли в основу разработанной вычислительной программы, обеспечивающей расчет искомых величин и построение искомых распределений случайных величин. Тем самым, поставленная задача была решена. Указанная вычислительная программа модели дуэльного боя танков может быть использована при разработке компьютерной игры жанра танковых симуляторов:

– для оценки игровые возможностей виртуальных танков в дуэльном бою по данным о размерах их боекомплектов и интенсивностях перехода игрового процесса из одного состояния в другое (прямая задача);
– для итерационного подбора значений интенсивностей перехода игрового процесса из одного состояния в другое, исходя из данных о предполагаемых игровых возможностях виртуальных танков в дуэльном бою (обратная задача).

Популярность танковых игр, воспроизводящих дуэльный бой танков, постоянно растет. Этот интерес может быть использован в том числе и для того, чтобы привлечь игроков к выявлению закономерностей танкового боя, в том числе с использованием данной модели. При этом им необязательно знать характеристики конкретных образцов танков. Для выявления качественного характера таких закономерностей могут быть использованы и другие данные, которые исследователь может задать самостоятельно. Покажем это на следующих примерах.

Примеры расчетов по модели

Пусть танки сторон А и В выдвигаются из глубины по встречным маршрутам по слабо холмистой местности с небольшой крутизной скатов, удобной для их спуска в котлован и подъёма из него. Глубина котлованов такая, что позволяет экипажу использовать их в качестве сменных огневых позиций, в которых в зоне фронтальной видимости противника будут находиться только ствол и верхняя лобовая часть башни танка. Складки местности могут использоваться экипажем для сокрытия корпуса и большей части башни танка от визуального наблюдения противника при смене огневых позиций. Экипажи обоих танков хорошо знают местность и могут умело использовать в бою её защитные свойства. Бой начинается с поиска цели, то есть исходным состоянием процесса боя является состояние (-1,-1).

Рассмотрим следующие варианты боя.

Вариант 1. Пусть оба танка используют танки одной марки. В автомате заряжания каждого танка имеется по 22 выстрела одного и того же типа. Выучка экипажей одинакова. Интенсивности выполнения операций экипажами танков равны

$$\lambda_{(i,j)1} = \lambda_{(i,j)2} = 1 \text{ [мин.}^{-1}\text{]};\ \lambda_{(i,j)3} = \lambda_{(i,j)4} = 0{,}08 \text{ [мин.}^{-1}\text{]},\ i = \overline{-1,m},\ j = \overline{-1,n}.$$

Тогда вероятности поражения сторон (победы в дуэльном бою) будут одинаковыми и равными 0,483; вероятность того, что оба танка израсходуют все имеющиеся у них выстрелы, не поразив противника, равна 0,034. Математическое ожидание продолжительности боя составило 7,123 мин. Математическое ожидание расходов каждой из сторон равно 14,495 выстрелов. Распределение вероятностей случайной величины, - количества боеприпасов, израсходованных танком стороны А в случае его победы в дуэльном бою, - представлено на рис. 2.

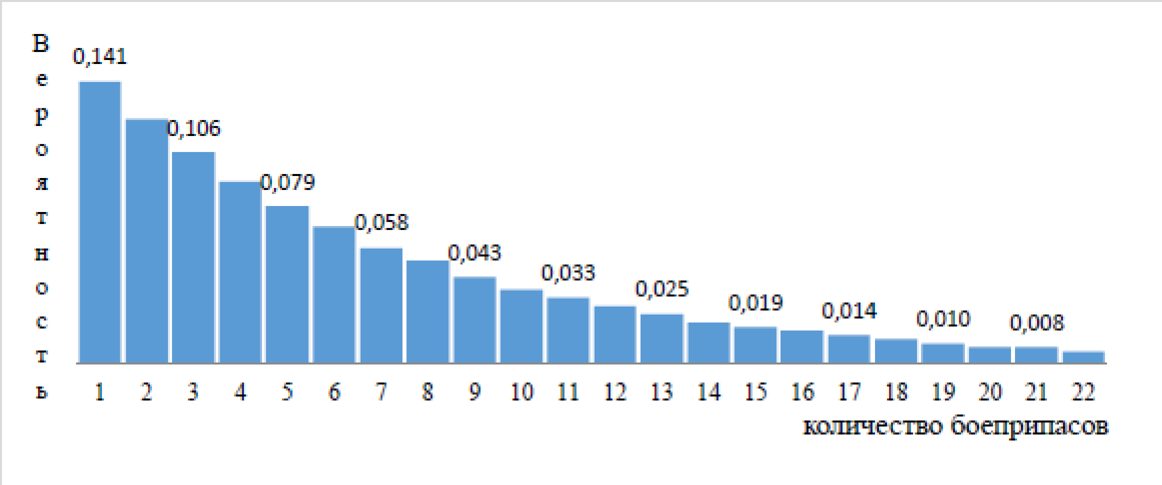

Рис.2. Распределение количества боеприпасов, израсходованных танком стороны А в случае его победы в бою.

Распределение вероятностей случайной величины, - количества боеприпасов в танке стороны В в случае его поражения танком стороны А, - представлено на рис. 3.

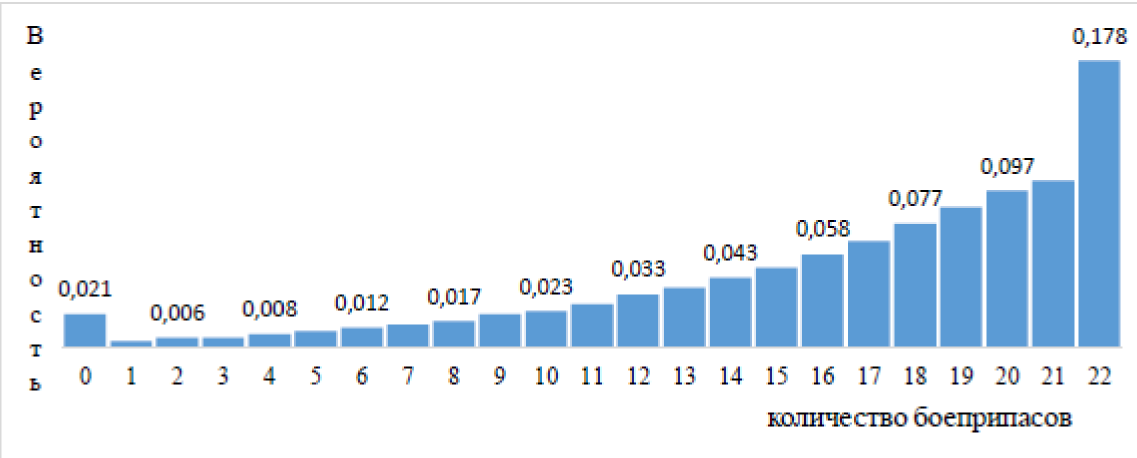

Рис.3. Количество боеприпасов в танке стороны В в случае его поражения танком стороны А.

В силу того, что танки сторон А и В, боеприпасы, используемые их экипажами, и условия ведения дуэльного боя одинаковы, соответствующие распределения вероятностей случайных величин:

– количества боеприпасов, израсходованных танком стороны В в случае его победы в дуэльном бою;
– количества боеприпасов в танке стороны В в случае его поражения танком стороны А, будут совпадать с соответствующими распределениями, представленными на рис. 2 и 3.

Вариант 2. Пусть, как и в варианте 1, количество боеприпасов у каждого из танков сторон А и В равно 22. Все боеприпасы загружены в автоматы заряжания танков. При этом $\lambda_{(i,j)1} = \lambda_{(i,j)2} = 1$ [мин.$^{-1}$], $\lambda_{(i,j)3} = 0{,}08$ [мин.$^{-1}$], $i = \overline{-1, m}$, $j = \overline{-1, n}$. Значения

$\lambda_{(i,-1)4}$; $\lambda_{(i,0)4}$; $\lambda_{(i,1)4}$; ... образуют геометрическую прогрессию с начальным членом, равным 0,12 [мин.$^{-1}$] и знаменателем прогрессии 1,2.

Тогда вероятность победы танка стороны А над танком стороны В равна 0,589; вероятность победы танка стороны В над танком стороны А равна 0,395; вероятность того, что оба танка израсходуют все имеющиеся у них выстрелы, не добившись победы, равна 0,016. Математическое ожидание продолжительности боя составило 5,940 мин. Математическое ожидание расходов боеприпасов составило у стороны А - 12,361 выстрелов, у стороны В – 15,558 выстрелов. Распределение вероятностей случайной величины, - количества боеприпасов, израсходованных танком стороны А в случае его победы в дуэльном бою, - представлено на рис. 4.

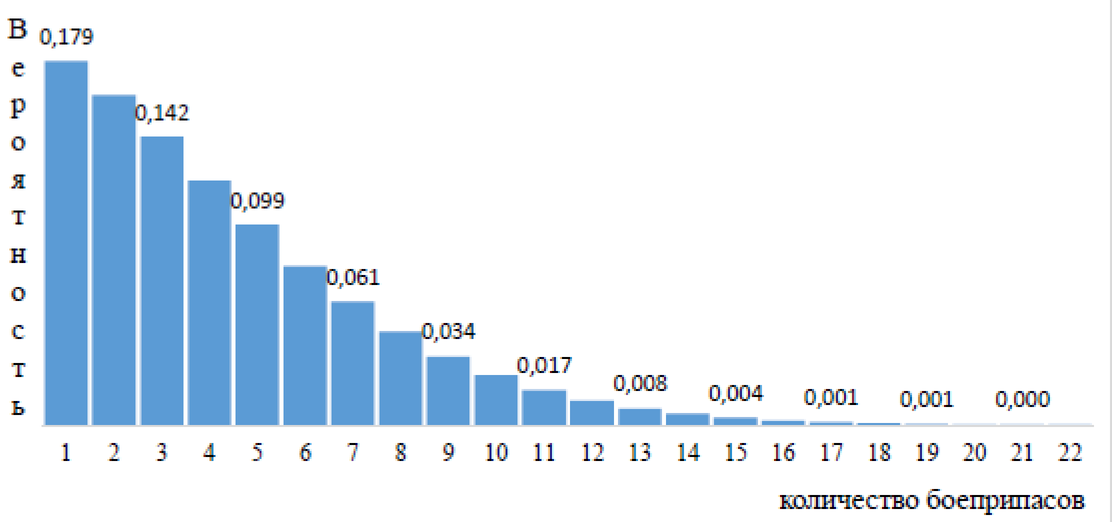

Рис.4. Распределение количества боеприпасов, израсходованных танком стороны А в случае его победы в бою.

Аналогичное распределение для стороны В представлено на рис. 5.

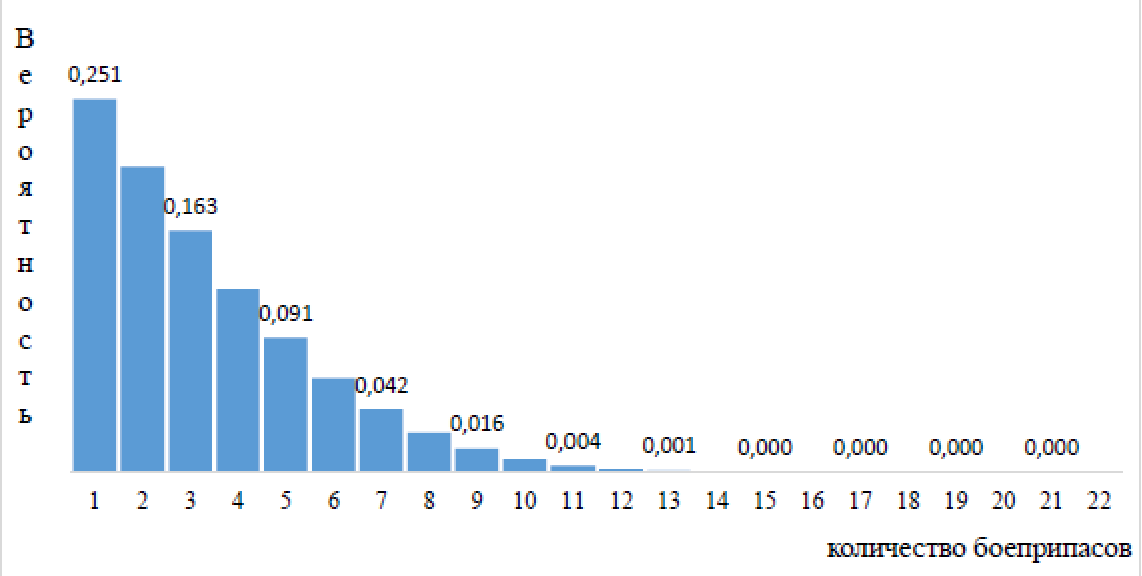

Рис.5. Распределение количества боеприпасов, израсходованных танком стороны В в случае его победы в бою.

Распределение вероятностей случайной величины, - количества боеприпасов в танке стороны B в случае его поражения танком стороны A, - представлено на рис. 6.

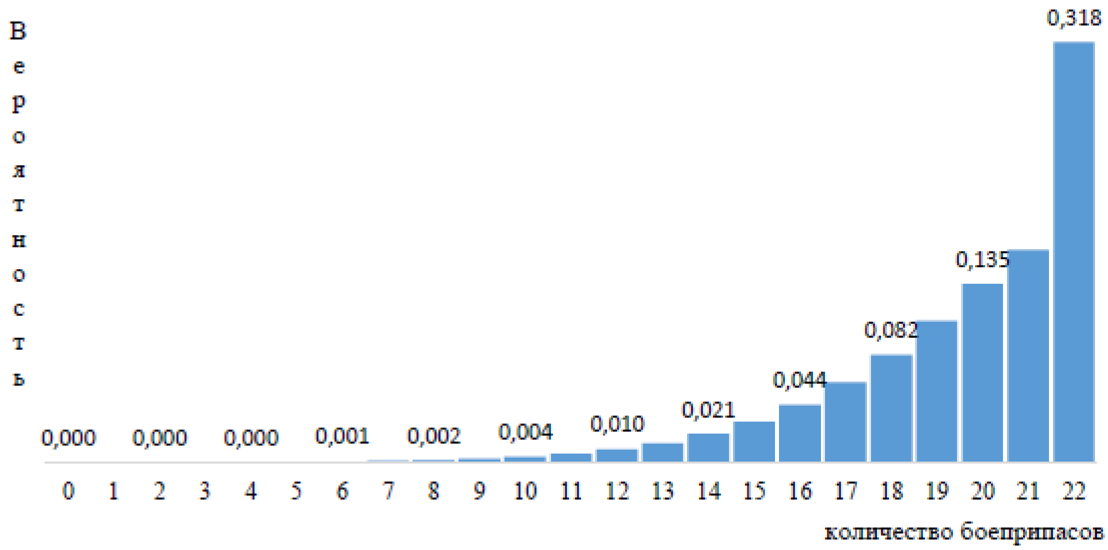

Рис.6. Количество боеприпасов в танке стороны B в случае его поражения танком стороны A.

Аналогичное распределение для стороны B представлено на рис. 7.

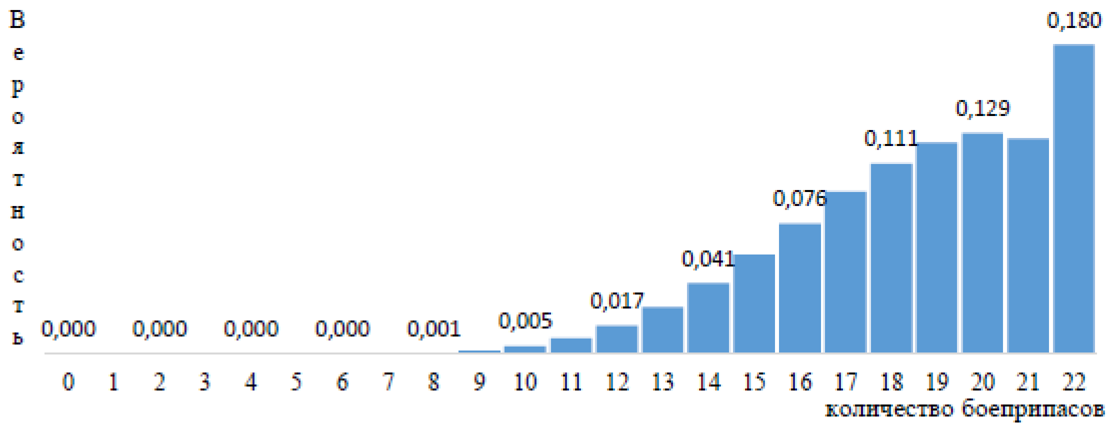

Рис.7. Количество боеприпасов в танке стороны A в случае его поражения танком стороны B.

Приведенные результаты расчётов свидетельствуют о том, что одним из проблемных вопросов современного танкостроения является вопрос размещения пушечного боекомплекта в танке, обеспечивающего защиту его экипажа от собственных боеприпасов (в случае их детонации в результате попадания снаряда противника в боеукладку).

Заключение

Таким образом, данная модель может быть использована:

– участниками игры для проведения собственных исследований, способствующих их более глубокому познанию закономерностей танкового боя и проблемных вопросов современного танкостроения;

– разработчиками компьютерных игр, воспроизводящих дуэльный бой танков, для настройки игры, задания такие значений интенсивностей перехода игрового процесса из одного состояния в другие, при которых игровые возможности виртуальных танков, участвующих в игре, будут соответствовать боевым возможностям их реальных прототипов на поле боя. Это позволит существенно повысить реалистичность однопользовательских игр, относящихся к жанру танковых симуляторов.

Список литературы

1. Охота на призраков / Armored Warfare «Проект Армата». Режим доступа: http://www.aw.mail.ru (дата обращения 23.08.2020).
2. Барятинский М.Б. Советские танковые асы. М.: Эксмо, 2008. 350 с.
3. Архипов В.С. Время танковых атак. М.: Эксмо, 2009. 352 с.
4. Катуков М.Е. Танковые бои: (Из опыта фронтовика). М.: Воениздат, 1942. 17 с.
5. Костенко Ю.П. Танки (воспоминания и размышления). В 3-х ч. Ч. 2. М.: ЭРА, 1997. 108 с.
6. Отечественные бронированные машины. XX век. [В 4 т.]. Т. 2: 1941-1945. М.: Экспринт, 2005. 448 с.
7. Герои Советского Союза: Краткий биографический словарь / А.А. Бабаков и др. [Т.] 2: Любов - Ящук. М.: Воениздат, 1988. 863 с.
8. Отечественные бронированные машины. XX век. [В 4 т.]. Т. 3: 1946-1965. М.: Цейхгауз, 2010. 672 с.
9. АО «Научно-производственная корпорация «Уралвагонзавод». Режим доступа: http://www.uralvagonzavod.ru (дата обращения 24.08.2020).
10. Морз Ф.М., Кимбелл Дж.Е. Методы исследования операций: пер. с англ. М.: Сов. радио, 1956. 307 с. [Morse Ph.M., Kimball G.E. *Methods of operations research*. N.Y.: Wiley, [1951]. 158 p.].
11. Математические модели боевых действий / П.Н. Ткаченко, Л.Н. Куцев, Г.А. Мещеряков и др.; под ред. П.Н. Ткаченко. М.: Сов. радио, 1969. 240 с.
12. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Сов. радио, 1972. 551 с.
13. Чуев В.Ю., Дубограй И.В. Вероятностная модель дуэльного боя с переменными эффективными скорострельностями // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2016. № 3(108). С. 118-124. DOI: 10.18698/0236-3941-2016-3-118-124
14. Чуев В.Ю., Дубограй И.В. Стохастические модели дуэльного боя двух единиц // Математическое моделирование и численные методы. 2016. № 2(10). С. 69-84. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26526407_58632028.pdf (дата обращения 24.08.2020).
15. Сердюков В.И, Сердюкова Н.А., Шишкина С.И. Использование элементов искусственного интеллекта для повышения надежности технических изделий // Вестник машиностроения. 2017. № 10. С. 29-32.

Mathematics and Mathematical Modeling, 2020.
no. 03. pp. 29 – 42.

DOI: **10.24108/mathm.0320.000025**

Mathematics & Mathematical
Modelling
Electronic journal
http://mathmelpub.ru ISSN 2412-5911

Mathematical Single-Player Computer Game Model to Reproduce Duel Fight of Tanks

V.I. Serdyukov[1], N.A. Serdyukova[2], S.I. Shishkina[1,*]

[1]Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
[2]Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

[*]shish-bmstu@mail.ru

Keywords: computer game, duel fight, mathematical model, markov random process

Received: 14.05.2020, Revised: 28.05.2020

In improving computer games, which reproduce a battle of tanks, two tasks can be distinguished: increasing a collection of game tools to represent virtual prototypes of real tank models and ensuring a realistic game. To solve these problems, a tool is necessary that allows us to compare gaming capabilities of virtual tank brands with combat capabilities of their real prototypes. A mathematical model of a computer game that reproduces a duel battle of tanks can be used as the tool. The specified model satisfies the following requirements: the sequence of operations reproduced in the model is in line with the sequence of operations implemented by the player in the course of the game; the maximum amount of ammunition that a tank can use in a model must correspond to the amount of tank ammunition. The duel lasts until one of the tanks is hit, or until all the gunshots available to hit the enemy are expended. It is necessary to find the probabilities of possible outcomes of a duel battle, the mathematical expectation of its duration, the mathematical expectation of the ammunition consumption of each side.

The solution to the problem is obtained by constructing a mathematical model according to the scheme of Markov random process with discrete states and continuous time. It is implemented as a program for a model of a duel battle of tanks and can be used when developing a computer game of the genre of tank simulators to assess the gaming capabilities of the virtual tanks in a duel battle from the data on the amount of their ammunition and on the intensity of the game process transition from one state to another; for selecting the intensity values of the game process transition from one state to another, based on the data on the estimated game capabilities of virtual tanks in a duel battle. Thus, game participants can use this model to conduct their own research. Developers of computer games can use it for setting up the game and setting such intensity values of the game process transition from one state to another, at which the gaming ca-

pabilities of virtual tanks will correspond to the combat capabilities of their real prototypes on the battlefield.

References

1. *Okhota na prizrakov / Armored Warfare "Proekt Armata"* [Ghost hunting: Armored Warfare "Armata Project"]. Available at: http://www.aw.mail.ru, accessed 23.08.202 (in Russian).
2. Baryatinsky M.B. *Sovetskie tankovye acy* [Soviet tank aces]. Moscow: Eksmo Publ., 2008. 350 p. (in Russian).
3. Arkhipov V.S. *Vremia tankovykh atak* [Time of tank attacks]. Moscow: Eksmo Publ., 2009. 352 p. (in Russian).
4. Katukov M.E. *Tankovye boi: (Iz opyta frontovika)* [Tank battles (From the experience of a front-line soldier)]. Moscow: Voenizdat Publ., 1942. 17 p. (in Russian).
5. Kostenko Yu.P. *Tanki (vospominania i razmyshleniia)* [Tanks (memories and reflections)]. In 3 parts. Pt. 2. Moscow: ERA Publ., 1997. 108 p. (in Russian).
6. *Otechestvennye bronirovannye mashiny. XX vek. V 4 t. T. 2: 1941-1945* [Domestic armored vehicles. XX century. In 4 vol. Vol. 2: 1941-1945]. Moscow: Eksprint Publ., 2005. 448 p. (in Russian).
7. *Geroi Sovetskogo Soyuza: Kratkij biograficheskij slovar'* [Heroes of the Soviet Union: A brief biographical dictionary] / A.A. Babakov a.o. [Vol.] 2: Lyubov – Iashchuk. Moscow: Voenizdat Publ., 1988. 863 p. (in Russian).
8. *Otechestvennye bronirovannye mashiny. XX vek. V 4 t. T. 3: 1946-1965* [Domestic armored vehicles. XX century. In 4 vol. Vol. 3: 1946-1965]. Moscow: Tseikhkhauz Publ., 2010. 672 p. (in Russian).
9. *AO "Nauchno-proizvodstvennaia korporatsiia "Uralvagonzavod"* [JSC "Research and Production Corporation" Uralvagonzavod "]. Available at: http://www.uralvagonzavod.ru, accessed 24.08.2020 (in Russian).
10. Morse Ph.M., Kimball G.E. *Methods of operations research*. N.Y.: Wiley, [1951]. 158 p. (Russ. ed.: Morse Ph.M., Kimball G.E. *Metody issledovaniia operatsij*. Moscow: Sovetskoe Radio Publ., 1956. 307 p.).
11. *Matematicheskie modeli boevykh dejstvij* [Mathematical models of military operations] / P.N. Tkachenko, L.N. Kutsev, G.A. Meshcheriakov; ed. by P.N. Tkachenko. Moscow: Soviet Radio Publ., 1969. 240 p. (in Russian).
12. Ventzel' E.S. *Issledovanie operatsij* [Research operations]. Moscow: Soviet Radio Publ., 1972. 551 p. (in Russian).
13. Chuev V.Yu., Dubogray I.V. Probabilistic model of a duel combat with the variable effective rate of fire. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Mashinostroenie* [Herald of the BMSTU. Mechanical Engineering, 2016, no. 3(108), pp. 118-124. DOI: 10.18698/0236-3941-2016-3-118-124 (in Russian)

14. Chuev V.Yu., Dubogray I.V. Stochastic models of the two unit duel fight. *Matematicheskoe modelirovanie i chislennye metody* [Mathematical Modeling and Computational Methods], 2016, no. 2(10), pp. 69-84. Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26526407_58632028.pdf (in Russian).
15. Serdyukov V.I., Serdyukova N.A., Shishkina S.I. Improving operational reliability by means of artificial intelligence. *Russian Engineering Research*, 2018, vol. 38, no. 1, pp. 15-18. DOI: 10.3103/S1068798X1801015X