

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПРИЦЕЛЬНЫХ СИСТЕМ  
СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ**

**A SIMULATION MODEL FOR ESTIMATING THE POTENTIAL  
CHARACTERISTICS OF ADVANCED AIMING EQUIPMENT OF SMALL ARMS**

*Канд. техн. наук Н.В. Быков, Н.С. Власова, В.А. Федулов*

*Ph.D. N.V. Bykov, N.S. Vlasova, V.A. Fedulov*

*МГТУ им. Н.Э. Баумана*

Предложен подход к оценке потенциальных характеристик прицельного оснащения индивидуального стрелкового оружия, основанный на имитационном моделировании дуэльного противодействия. Для его реализации разработана дискретно-событийная имитационная модель, основными исходными данными для которой служат точностные и временные характеристики системы «прицел-оружие» и параметры цели. В качестве оцениваемых характеристик прицельного оснащения выступают точность наводки и время прицеливания. Особенностью модели является ее независимость от типа прицельного оснащения и учет не только показателей точности, но и временного фактора. Имитационная модель позволяет оценить потенциальные характеристики прицельного оснащения индивидуального стрелкового оружия на основе расчета его боевой эффективности и может использоваться для формирования тактико-технических требований к перспективным прицельным средствам.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, метод Монте-Карло, дискретно-событийное моделирование, прицелы, стрелковое оружие, эффективность стрельбы.

In this paper, a new approach is proposed for estimating the potential characteristics of the aiming equipment of small arms. To implement the proposed approach a duel-based discrete-event simulation model is developed. The main initial data for the model are the accuracy characteristics and time parameters of the “sight-weapon” system and target parameters. The estimated characteristics of the aiming equipment are the aiming accuracy and aiming time. Aiming equipment type independence and accounting both time factor and accuracy are the main features of proposed model. The simulation model evaluates the performance of the aiming equipment of small arms by means of combat efficiency calculation. A proposed model can be used to formulate the general requirements for advanced aiming equipment of small arms.

**Keywords:** simulation modeling, Monte Carlo simulation, discrete-event simulation, sights, small arms, fire efficiency.

### **Введение**

Задача оценки эффективности прицельных систем индивидуального оружия возникает на ранних этапах проектирования и решается с це-

лью обоснования принимаемых технических решений. Имитационное моделирование является одним из инструментов, во многих случаях позволяющих оценить не только боевую эффективность разрабатываемых средств вооружения, но

и решить обратную задачу формирования требований к перспективным системам с заданной эффективностью [1–3].

Существующие подходы к оценке эффективности стрелкового оружия с прицельным оснащением имеют ряд ограничений. Во-первых, как теоретические, так и экспериментальные методы применимы в основном на этапах обработки экспериментальных образцов вооружения или натурных испытаний стрелкового оружия, оснащенного прицельными системами [4–7]. Во-вторых, теоретические подходы, как правило, разработаны для оценки эффективности конкретного класса прицельного оснащения и их затруднительно распространить на другие классы [7, 8]. В-третьих, существующие подходы позволяют оценить временные показатели эффективности, в частности, время выполнения огневой задачи, но не позволяют оценить влияние временных характеристик системы «прицел-оружие» на вероятность поражения цели [6, 9, 10]. В-четвертых, теоретические методы используются для традиционного прицельного оснащения и не позволяют оценить эффективность оружия с перспективными прицельными системами, построенными на новых принципах или реализующих новые способы прицеливания.

Перечисленные ограничения приводят к необходимости разработки методики оценки эффективности, позволяющей охватывать относительно широкий спектр классов прицельных систем и учитывающей временной фактор.

В настоящей работе предпринята попытка исправить указанные недостатки путем разработки имитационной модели для определения потенциальных характеристик перспективных прицельных систем стрелкового оружия. В качестве основных характеристик прицельной системы выбраны точность наводки, выраженная среднеквадратическим отклонением (СКО) точки наводки от точки прицеливания  $\sigma_n$ , и время прицеливания  $t_n$ , необходимое для совмещения прицельной марки с точкой на цели. Для учета временного фактора применяется дискретно-событийный подход к моделированию дуэльного боя двух противоборствующих сторон. Результаты моделирования представляют собой сравнительную оценку эффективности оружия, оснащенного перспективной прицельной системой, относительно оружия с традиционным прице-

лом и отражают возможные значения вероятности победы стороны, оснащенной оружием с перспективной системой прицеливания, в заданных диапазонах значений  $\sigma_n$  и  $t_n$ .

### Имитационная модель дуэльного боя

В основе предлагаемой методики оценки эффективности прицельных систем лежит имитационная модель дуэльного боя сторон  $A$  и  $B$ . С формальной точки зрения дуэльный бой представляет собой поток событий, меняющих состояние системы и выражающихся в виде операций прицеливания, выстрела и заряжания оружия сторонами  $A$  и  $B$ . Результатом единичного «прогона» имитационной модели является стохастический исход дуэли при заданных условиях боя и характеристиках систем «прицел-оружие»  $A$  и  $B$ .

Основными исходными данными для построения имитационной модели служат точностные и временные характеристики системы «прицел-оружие» и параметры цели. Точностные характеристики образца оружия определяются характеристиками рассеивания, а прицельного оснащения — точностью наводки  $\sigma_n^A$ ,  $\sigma_n^B$ . Временные характеристики системы определяются для каждой стороны временами прицеливания  $t_n^A$ ,  $t_n^B$ , выстрела  $t_b^A$ ,  $t_b^B$ , реакции на выстрел противника  $t_p^A$ ,  $t_p^B$  и перезарядки оружия  $t_3^A$ ,  $t_3^B$  (вследствие ограниченной емкости магазина, которая также является задаваемой величиной). Кроме этого, задаются условия боя, выраженные в дальности до цели, режиме ведения огня (одиночный огонь или стрельба очередью длиной  $r$ ) и положении для стрельбы, которые определяют ошибки стрельбы.

В качестве ошибок стрельбы выступают:

- ошибки наводки  $\bar{E}_n$ , которые обусловлены неточным совмещением линии прицеливания с выбранной точкой прицеливания — контрольной точкой;

- ошибки одиночных выстрелов или первого выстрела в очереди  $\bar{B}_1$ , которые определяются случайным отклонением выстрела от точки наводки;

- групповые ошибки стрельбы очередью  $\bar{B}_{стп}$ , которые повторяются для всех выстрелов очереди и определяют положение средней точки попадания (СТП) относительно точки прицеливания;

– индивидуальные ошибки стрельбы очереди  $\bar{B}_в$ , которые не повторяются для отдельных выстрелов очереди и определяют положение выстрела относительно СТП очереди.

Следует отметить, что для некоторых видов автоматического оружия, вследствие воздействия на оружие отдачи и реакции на отдачу при ведении автоматического огня, ошибки рассеивания для первых и последующих выстрелов очереди необходимо учитывать по отдельности, что и предусмотрено в имитационной модели. Кроме того, принято во внимание двоцентрие автоматического оружия, выраженное отклонением центра рассеивания последующих выстрелов очереди относительно центра рассеивания первых выстрелов очереди по высоте  $\Delta y$  и в боковом направлении  $\Delta z$  [11].

Все ошибки стрельбы рассматриваются в вертикальной плоскости цели  $OYZ$  (рис. 1).

В теории стрельбы принято оперировать средними отклонениями  $E$  по соответствующей координате в вертикальной плоскости цели, при этом в имитационной модели используются значения СКО  $\sigma$ . Связь между  $E$  и  $\sigma$  выражается известной формулой [12]:

$$\sigma = \frac{E}{\rho\sqrt{2}},$$

где  $\rho = 0,4769$  — константа нормального распределения.

При разработке имитационной модели дуэльного боя были приняты следующие допущения:

1) в процессе каждой дуэли точка прицеливания совмещается с контрольной точкой с уче-

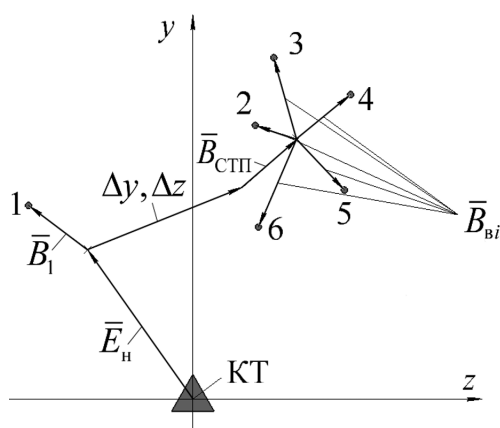


Рис. 1. Схема ошибок стрельбы для стрельбы очередью (КТ — контрольная точка)

том соответствующих ошибок; расстояние между сторонами за время одного дуэльного боя не изменяется;

2) время поиска цели не учитывается, при этом сторона, совершающая первый выстрел, определяется случайным образом;

3) временем полета пули до цели можно пренебречь;

4) стороны  $A$  и  $B$  ведут огонь по противнику независимо до наступления одного из трех возможных исходов боя: поражение стороны  $A$ , поражение стороны  $B$  или превышение допустимого времени, отведенного на одну дуэль;

5) общий запас боеприпасов сторон не ограничен, при этом количество боеприпасов до момента перезарядки ограничено емкостью магазина оружия;

6) ошибка прицеливания системы «прицел-оружия»  $\sigma_n$  считается симметричной по высоте и боковому направлению.

Розыгрыш единичного выстрела в имитационной модели происходит путем генерации координат точки попадания, распределенных по нормальному закону, в вертикальной плоскости цели с учетом соответствующих ошибок. Цель, по которой производится стрельба каждой из сторон, задается на координатной плоскости  $OYZ$  в виде замкнутого контура, который в общем случае может быть произвольным. Точкой прицеливания для каждой из сторон  $A$  и  $B$  является точка на цели противника (контрольная точка) с координатами  $(y_{кт}, z_{кт})$ . Относительно контрольной точки по нормальному закону распределения генерируется точка наводки  $(y_n, z_n)$  с плотностью распределения:

$$f_n(y_n, z_n) = \frac{1}{2\pi\sigma_{y_n}\sigma_{z_n}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{(y_n - y_{кт})^2}{\sigma_{y_n}^2} + \frac{(z_n - z_{кт})^2}{\sigma_{z_n}^2} \right) \right],$$

где  $\sigma_{y_n}, \sigma_{z_n}$  — СКО точки наводки. При этом точка наводки  $(y_n, z_n)$  не изменяется в процессе одной итерации, то есть одного выстрела или одной очереди.

При стрельбе одиночными выстрелами относительно полученной точки наводки  $(y_n, z_n)$ , также по нормальному закону генерируется одиночный выстрел, плотность распределения координат которого имеет вид:

$$f_1(y_1, z_1) = \frac{1}{2\pi\sigma_{y1}\sigma_{z1}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{(y_1 - y_n)^2}{\sigma_{y1}^2} + \frac{(z_1 - z_n)^2}{\sigma_{z1}^2}\right)\right], \quad (1)$$

где  $\sigma_{y1}, \sigma_{z1}$  — СКО одиночных выстрелов.

В случае стрельбы очередью длиной  $r$  выстрелов одиночный выстрел является первым — прицельным выстрелом очереди и генерируется согласно формуле (1) с теми же значениями СКО  $\sigma_{yв} = \sigma_{y1}$  и  $\sigma_{zв} = \sigma_{z1}$ . Далее также по нормальному закону генерируется СТП очереди с учетом величины  $(\Delta y, \Delta z)$ :

$$f_{СТП}(y_{СТП}, z_{СТП}) = \frac{1}{2\pi\sigma_{yСТП}\sigma_{zСТП}} \times \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{(y_{СТП} - (y_n + \Delta y))^2}{\sigma_{yСТП}^2} + \frac{(z_{СТП} - (z_n + \Delta z))^2}{\sigma_{zСТП}^2}\right)\right],$$

где  $f_{СТП}(y_{СТП}, z_{СТП})$  — плотность распределения случайной величины  $y_{СТП}, z_{СТП}$ ;  $\sigma_{yСТП}, \sigma_{zСТП}$  — СКО СТП очереди. А затем генерируется каждый из последующих  $[2, r]$  выстрелов очереди относительно СТП очереди с плотностью распределения:

$$f_в(y_в, z_в) = \frac{1}{2\pi\sigma_{yв}\sigma_{zв}} \times \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{(y_в - y_{СТП})^2}{\sigma_{yв}^2} + \frac{(z_в - z_{СТП})^2}{\sigma_{zв}^2}\right)\right],$$

где  $\sigma_{yв}, \sigma_{zв}$  — СКО последующих выстрелов в очереди.

### Методика определения потенциальных характеристик прицельной системы

Задача оценки потенциальных характеристик перспективной прицельной системы, в качестве которых выступают точность наводки  $\sigma_n$  и время прицеливания  $t_n^A$ , сводится к тому, чтобы по исходным данным методом имитационного

моделирования определить значение показателя эффективности  $P_{ij}^{A0}$  на множестве значений  $\{\sigma_{ni}^A, t_{nj}^A\}$  перспективной системы прицеливания для конкретных условий боя:

$$\{\sigma_{ni}^A, t_{nj}^A\} \xrightarrow{f} \{P_{ij}^{A0}\},$$

где  $i = \overline{1, n_\sigma}$  и  $j = \overline{1, n_t}$ ,  $n_\sigma$  и  $n_t$  — общее число расчетных точек для  $\sigma_{ni}^A$  и  $t_{nj}^A$ . Количество расчетных точек определяется быстродействием вычислительной системы.

Показатель эффективности  $P_{ij}^{A0}$  здесь представляет собой вероятность победы стороны  $A$ , то есть поражения стороны  $B$ , оснащенной индивидуальным автоматическим стрелковым оружием с перспективной прицельной системой, над стороной  $B$  с традиционным прицельным оснащением. Для его определения применяется метод статистических испытаний (метод Монте-Карло), при котором описанная имитационная модель одного дуэльного боя многократно обчисляется для каждого элемента множества  $\{\sigma_{ni}^A, t_{nj}^A\}$ . Диапазоны возможных значений ошибки наводки  $\sigma_{ni}^A$  и времени прицеливания  $t_{nj}^A$  задаются в начальных условиях моделирования, также как и количество расчетных точек  $n_\sigma$  и  $n_t$ .

Оценку минимально необходимого количества прогонов  $N$  имитационной модели, обеспечивающего попадание полученного распределения в  $\varepsilon$ -окрестность действительной вероятности с доверительной вероятностью  $Q$ , проводят по формуле [13]:

$$N \geq \frac{1}{(2\varepsilon)^2} (\Phi^{-1}(Q))^2, \quad (2)$$

где  $\Phi^{-1}$  — обратная функция для функции Лапласа.

Результаты моделирования визуализируются в виде двумерного графика плотности значений  $P_{ij}^{A0}$  в координатах ошибки наводки  $\sigma_n^A$  и времени прицеливания  $t_n^A$ .

Таким образом, общую расчетно-алгоритмическую схему решения рассматриваемой задачи можно описать следующим образом (рис. 2):

1) определение условий боя и задание исходных данных. На этом этапе проводится выбор систем «прицел-оружие» для сторон  $A$  и  $B$ , определяются условия боя: режим ведения огня, положение для стрельбы, дальность до

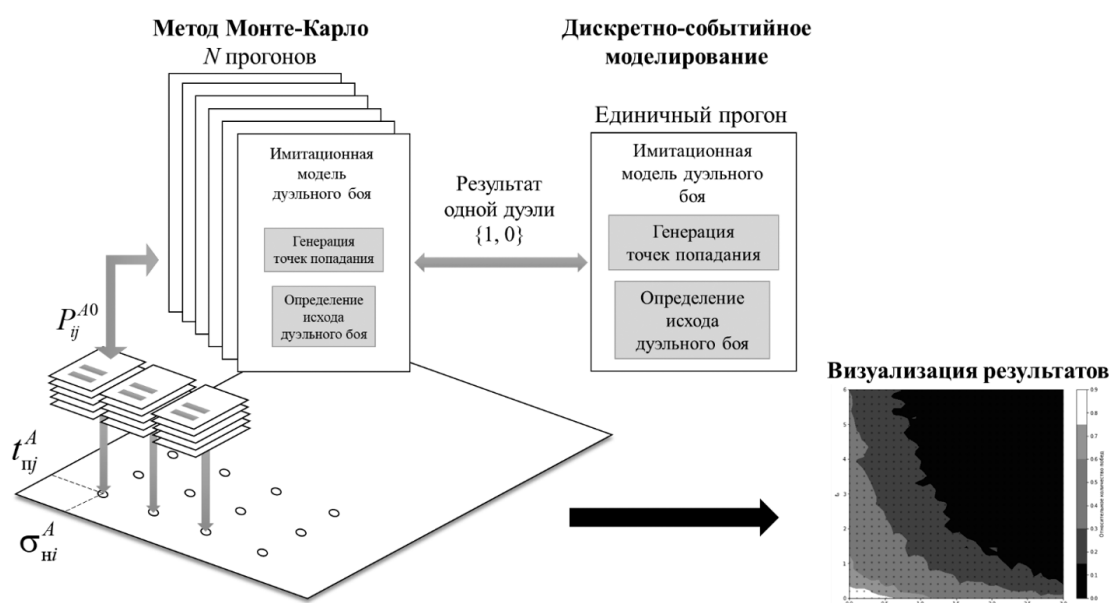


Рис. 2. Общая схема решения задачи оценки потенциальных характеристик перспективных прицельных систем стрелкового оружия

цели, которые влияют на характеристики рассеивания оружия. Цели задаются в виде замкнутых контуров с указанием размеров. В качестве исходных данных также выступают точность наводки для прицельных систем  $\sigma_n^B$  и диапазона  $\sigma_{ni}^A$  с указанием количества расчетных точек  $i = \overline{1, n_\sigma}$ , временные параметры для обеих сторон с учетом диапазона значений времени прицеливания  $t_{ij}^A$  и  $j = \overline{1, n_t}$ , и количество прогонов  $N$  имитационной модели;

2) определение показателя эффективности  $P_{ij}^{A0}$  в каждой точке  $\{\sigma_{ni}^A, t_{ij}^A\}$  расчетной сетки методом Монте-Карло путем  $N$  прогонов имитационной модели дуэльного боя;

3) визуализация результатов расчетов в виде двумерного распределения плотности вероятности победы стороны  $A$  над стороной  $B$  в координатах  $\sigma_n^A$  и  $t_n^A$ .

Разработанная методика и имитационная модель реализованы в виде программы на языке Python [14].

### Результаты моделирования

Рассмотрим примеры моделирования для случаев стрельбы одиночными выстрелами и очередь из трех выстрелов. Бой ведется из неустойчивых положений стоя с руки на дальности 200 м из автоматов АК-74, оснащенных некото-

рым перспективным (сторона  $A$ ) и механическим (сторона  $B$ ) прицелами. Для примеров численного моделирования представим цель в модели не в стандартном виде одной из типовых мишеней [11], а в пользовательском — силуэтом ростовой фигуры человека (рис. 3). Пусть каждая из частей силуэта обладает значением весового коэффициента, который характеризует уязвимость цели и влияет на вероятность ее поражения, как показано на рис. 3. Точкой прицеливания для каждой из сторон  $A$  и  $B$  является точка на цели противника (контрольная точка) с постоянными координатами  $y_{кт} = 1,25$  и  $z_{кт} = 0$ .

Точностные характеристики прицела и оружия для каждой из сторон для заданных условий

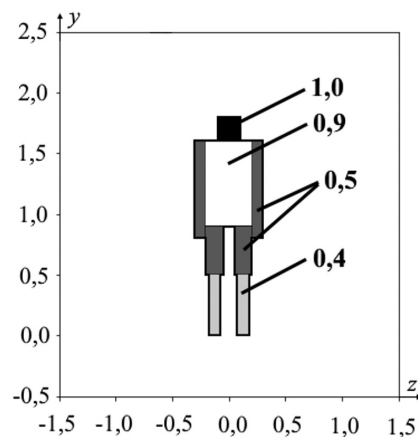


Рис. 3. Контур цели и весовые коэффициенты закона поражения цели



боя определены по формуле согласно данным [11] и [15], и приведены в табл. 1. Временные характеристики для противоборствующих сторон приведены в табл. 2 согласно [16]. Вместимость магазинов для обоих образцов оружия составляет 30 патронов.

Количество расчетных точек для  $\sigma_n^A$  и  $t_n^A$  равно 30. Количество прогонов  $N$  имитационной модели согласно формуле (2) при доверительной вероятности  $Q = 0,95$  и уровне значимости  $\varepsilon = 0,05$  должно быть не менее 384. Примем  $N$  равным 600.

Результаты моделирования представлены на рис. 4 для дальности 200 м и режимах ведения огня: одиночный и очередь из трех пуль.

Анализ результатов показывает, что, во-первых, время прицеливания и точность наводки действительно оказывают большое влияние на эффективность стрельбы, и зависимость показателя эффективности  $P_{ij}^{A0}$  от этих характеристик и режима огня нелинейная. Во-вторых, из рис. 4 видно, что вероятность победы стороны  $A$  при ведении одиночного огня выше чем при стрельбе очередью при прочих равных условиях. Это объясняется тем, что стрелок перенацеливается после каждого выстрела, тем самым «увеличивая» точность стрельбы. Однако при этом очевидно, что среднее время боя будет в этом случае выше чем при стрельбе очередью. В-третьих, полученные распределения позволяют сформировать

Таблица 1

Точностные характеристики сторон  $A$  и  $B$  для дальности 200 м, в метрах

Сторона	$\sigma_n$	$\sigma_{y1}$	$\sigma_{z1}$	$\sigma_{y\text{СТП}}$	$\sigma_{z\text{СТП}}$	$\sigma_{yв}$	$\sigma_{zв}$	$\Delta y$	$\Delta z$
$A$	[0; 1,5]	0,534	0,356	1,37	0,96	1,803	1,379	0,3	0,3
$B$	0,593								

Таблица 2

Временные характеристики сторон  $A$  и  $B$ , в секундах

Сторона	$t_n$	$t_b$	$t_3$	$t_p$
$A$	[0; 10]	0,1	4	2
$B$	2,5			

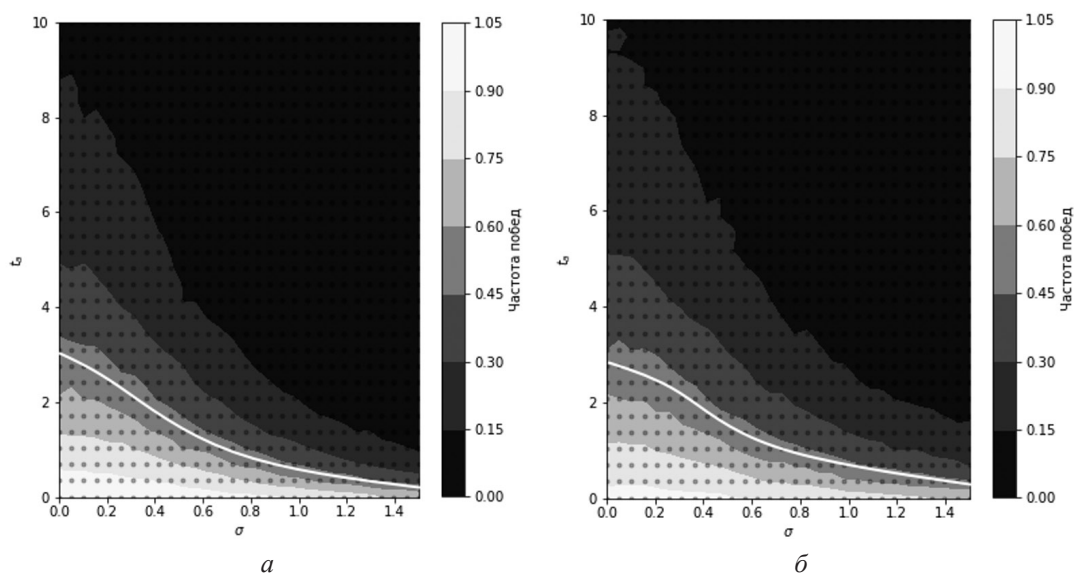


Рис. 4. Распределение плотности вероятности  $P_{ij}^{A0}$  победы стороны  $A$  над стороной  $B$  для разных режимов огня на дальности 200 м (белая линия соответствует  $P_{ij}^{A0} = 0,5$ ):  $a$  — одиночный огонь;  $b$  — очередь из трех пуль

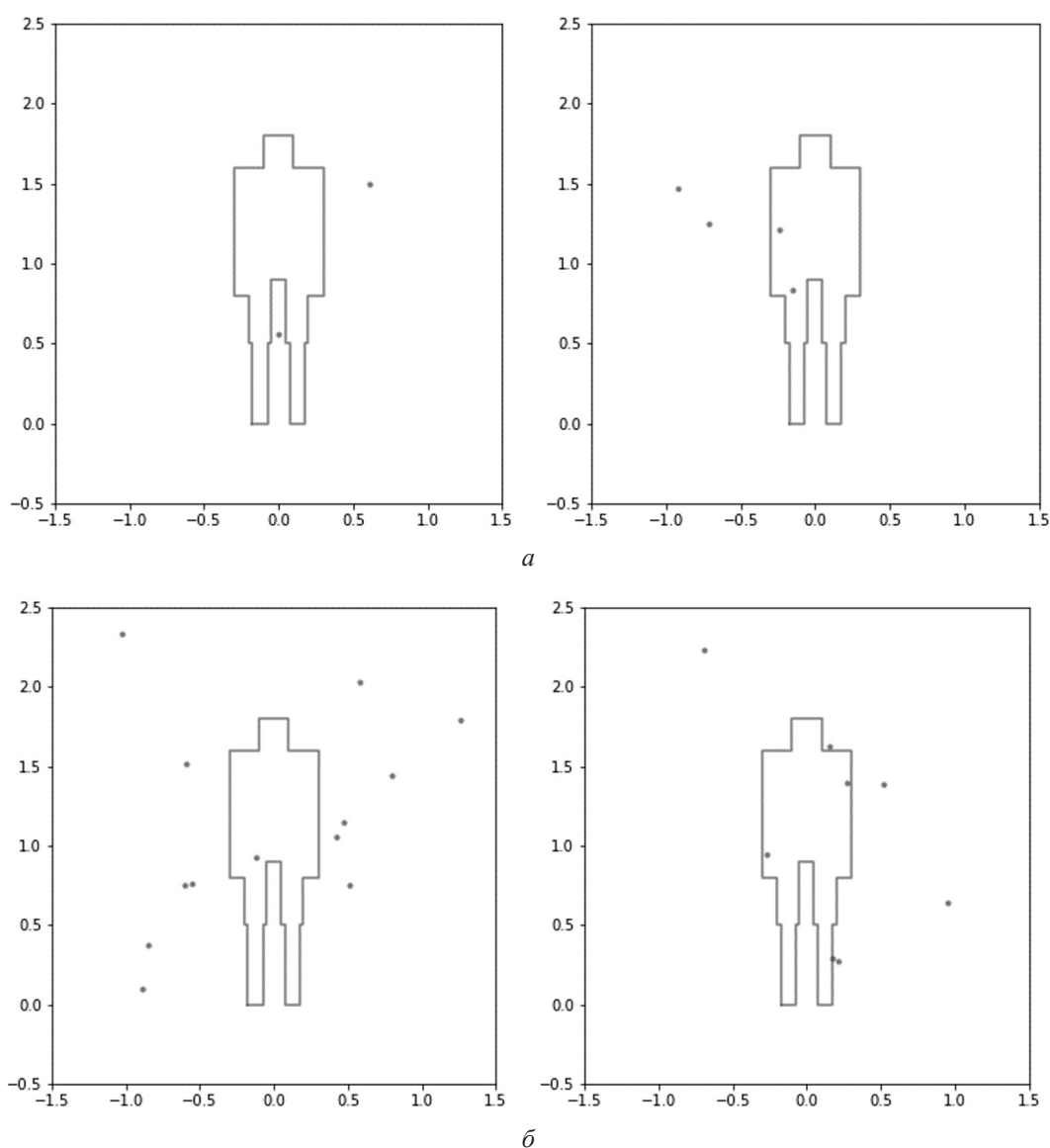


Рис. 5. Точки попадания стороны А (справа) и стороны В (слева) для разных режимов огня на дальности 200 м: а — одиночный огонь б — очередь из трех пуль

ровать требования к потенциальным характеристикам прицельной системы, которые обеспечивают заданную вероятность победы стороны, оснащенной исследуемой прицельной системой, по сравнению со стороной, оснащенной механическим прицелом.

На рис. 5 показаны частные картины обстрела сторонами друг друга в одной дуэли на дальности 200 м при различных режимах ведения огня.

### Выводы

Предложен метод для оценки потенциальных характеристик прицельной системы инди-

видуального стрелкового оружия на основе его сравнительной боевой эффективности, в основе которого лежит имитационная модель дуэльного боя двух сторон. В качестве оцениваемых характеристик выступают точность наводки и время прицеливания, что делает метод применимым к прицельным системам любого класса независимо от способа их построения и функционирования. Это означает также, что разработанная имитационная модель может использоваться для формирования тактико-технических требований к перспективному прицельному оснащению.

Имитационная модель обладает достаточной полнотой и гибкостью. В ней учитывается

физическая картина рассеивания выстрелов при стрельбе из автоматического оружия для различных режимов ведения огня: одиночными выстрелами или очередью заданной длины. В качестве образцов оружия для противоборствующих сторон могут быть рассмотрены любые виды автоматического оружия, в том числе обладающие двоцентрием, которое учтено в модели. Однако это предполагает знание характеристик рассеивания образцов оружия, которые можно получить из существующих таблиц или с помощью экспериментальных стрельб. Цель в модели задается в виде плоского контура, в общем случае произвольной формы, что позволяет моделировать разнообразные цели, а также в процессе моделирования возможно учитывать степень ее защищенности.

Дальнейшее развитие предложенного метода может быть направлено на более полный учет условий боя, включая влияние факторов внешней среды, рассмотрение движения двух боевых единиц, а также распространение метода для случая двусторонних боевых действий многочисленных группировок.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-29-06090 мк).

### Литература

1. Ткаченко П.Н. Математические модели боевых действий. — М.: Советское радио. 1969. 240 с.
2. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле. — М.: Воениздат. 1970. 270 с.
3. Имитационное моделирование боевых действий: теория и практика / Созинов П.А. и др. — Тверь. 2013. 528 с.
4. Афанасьев В.В., Пистряк П.В., Арабаджи А.Н. Исследование эффективности применения коллиматорных прицелов к стрелковому оружию // Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. 2018. Т. 2, № 32. С. 12–16.
5. Фёдорцев Р.В., Шкадаревич А.П., Ийд Ку-сай Мохамад, Фуфаев А.А. Методы повышения эффективности работы двухканального оптико-электронного прицела // Приборы и методы измерений. 2018. Т. 9. № 2. С. 182–196.
6. Mihaylov D.G. One simple model of small arms fire using the Monte Carlo method // J. Def. Model. Simul. Appl. Methodol. Technol. 2017. Vol. 14. № 4. P. 465–470.

7. Биленко А.И. Повышение эффективности выполнения снайперских огневых задач силами безопасности путем определения рациональных характеристик оптического прицела // Системи озброєння і військова техніка. 2015. Т. 1. № 41. С. 7–11.

8. Сенаторов Н.В., Микитенко В.И., Гурнович А.В., Лагно Ю.В. Оценка эффективности выполнения боевой задачи оператором стрелкового оружия с оптическим прицелом // Артиллерийское и стрелковое вооружение: Международный научно-технический сборник. 2005. Т. 1. № 14. С. 4–7.

9. Биленко А.И., Афанасьев В.В. Оценка эффективности стрелкового оружия // Системи озброєння і військова техніка. 2005. № 3/4. С. 74–77.

10. Биленко А.И. Показатели и критерии оценки эффективности стрельбы при выполнении специфических заданий силами безопасности // Системи озброєння і військова техніка. 2014. Т. 3. № 39. С. 7–11.

11. Лебединец А.Н. Организация, вооружение и боевые возможности мотострелковых подразделений малого масштаба. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. 108 с.

12. Кашин В.М., Ахапкин Н.И. Эффективность ракетного и артиллерийского вооружения. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2020. 201 с.

13. Hahn G.J. Sample sizes for Monte Carlo simulation // IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics. Vol. SMC-2 (5). 1972. P. 678–680.

14. Расчет эффективности прицельных систем стрелкового оружия: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021610070 Российская Федерация / Н.В. Быков, Н.С. Власова, В.А. Федулов. № 2020666539; заявл. 27.11.20; опубл. 12.01.21.

15. Таблицы стрельбы по наземным целям из стрелкового оружия калибров 5,45 и 7,62 мм. ТС ГРАУ № 61. — М.: Воениздат. 1977. 262 с.

16. Шерешевский М.С., Гонтарев А.Н., Минаев Ю.В. Эффективность стрельбы из автоматического оружия. — М.: ЦНИИ информации. 1979. 328 с.

### References

1. Tkachenko P.N. Mathematical models of combat operations. — М.: Sovetskoe radio. 1969. 240 p.



2. Chuev Ju.V. Military Operations Research. — M.: Voenizdat. 1970. 270 p.
3. Simulation of combat operations: theory and practice / Sozinov P.A. et al. — Tver'. 2013. 528 p.
4. Afanas'ev V.V., Pistrjak P.V., Arabadzhi A.N. Research of effectiveness of using collimator sights for small arms // Zbirnyk naukovykh prac' Nacional'noi' akademii' Nacional'noi' gvardii' Ukrainy. 2018. Vol. 2. № 32. P. 12–16.
5. Fjodorcev R.V., Shkadarevich A.P., Ijd Kusaj Mohamad, Fufaev A.A. Methods for increasing the efficiency of a dual-channel opto-electronic sight // Pribory i metody izmerenij. 2018. Vol. 9. № 2. P. 182–196.
6. Mihaylov D.G. One simple model of small arms fire using the Monte Carlo method // J. Def. Model. Simul. Appl. Methodol. Technol. 2017. Vol. 14. № 4. P. 465–470.
7. Bilenko A.I. The increase of efficiency of sniper fire tasks performing by safety forces by means of determination of rational characteristics of optical sights // Systemy ozbrojennja i vijs'kova tehnika. 2015. Vol. 1. № 41. P. 7–11.
8. Senatorov N.V., Mikitenko V.I., Gurnovich A.V., Lagno Ju.V. Estimation of the efficiency of performance of the combat task by the operator of small arms with the optical sight // Artillerijskoe i strelkovoje vooruzhenie: Mezhdunarodnyj nauchno-tehnicheskij sbornik. 2005. Vol. 1. № 14. P. 4–7.
9. Bilenko A.I., Afanas'ev V.V. Small arms efficiency estimation // Systemy ozbrojennja i vijs'kova tehnika. 2005. № 3/4. P. 74–77.
10. Bilenko A.I. Indexes and criteria of efficiency estimation of firing at implementation of specific tasks safety forces // Systemy ozbrojennja i vijs'kova tehnika. 2014. Vol. 3. № 39. P. 7–11.
11. Lebedinets A.N. Organization, armament and combat capabilities of small-scale motorized rifle forces. — M.: MGTU named after N.Je. Bauman. 2012. 108 p.
12. Kashin V.M., Ahapkin N.I. Efficiency of small arms and artillery weapons. — M.: MGTU named after N.Je. Bauman. 2020. 201 p.
13. Hahn G.J. Sample sizes for Monte Carlo simulation // IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics. Vol. SMC-2 (5). 1972. P. 678–680.
14. Calculation of the efficiency of small arms sighting systems: certificate of state registration of a computer program № 2021610070 Russian Federation / N.V. Bykov, N.S. Vlasova, V.A. Fedulov. Application № 2020666539; dated 27.11.20; publ. 12.01.21.
15. Firing tables for ground targets from small arms of calibers 5.45 and 7.62 mm. FT GRAU № 61. — M.: Voenizdat. 1977. 262 p.
16. Shereshevskij M.S., Gontarev A.N., Minaev Yu.V. Efficiency of fire from automatic firearms. — M.: Central Research Institute of Information. 1979. 328 p.