

# СТОХАСТИЧЕСКО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОРАЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ МУЛЬТИАГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Е. А. Васильева, А. В. Огородников, И. А. Крючков*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В последние годы у крупных предприятий и ведомств РФ, включая Министерство обороны РФ, выросла потребность в различных средствах поддержки принятия решений, основанных на имитационном моделировании и оптимизации поведения действующих или перспективных пространственно-распределенных систем. В частности, одной из актуальных задач является задача моделирования боевых действий и поиск оптимальных режимов ведения боя. Анализ результатов такого моделирования является важным аспектом с точки зрения оценки возможности, как отдельных боевых единиц, так и имеющихся боевых сил в целом в различных условиях при заявленных и перспективных характеристиках.

В реальных условиях взаимодействие между различными тактическими единицами, участвующими в бою, подчиняется сложным закономерностям, описать которые точно и полно не представляется возможным. Задача усложняется при возрастании числа рассматриваемых тактических единиц. В силу этого любая математическая модель будет обладать некоторой степенью приближенности, позволяющей различать более точные и менее точные модели одного и того же физического процесса.

В различных работах [1–7], посвященных моделированию боевых действий, встречаются два основных типа моделей: аналитические и стохастические. В аналитических моделях результаты моделирования связываются с исходными данными формульными математическими зависимостями. Суть любой стохастической модели состоит в том, что некоторое исследуемое явление рассматривается как случайный процесс. Стохастические модели применяются в случаях, когда их использование позволяет быстрее и проще, с точки зрения затрачиваемых ресурсов, получить окончательный результат, чем при использовании аналитических моделей, а также, когда цели исследования аналитическими методами достичь невозможно.

Рассматриваемая в докладе тема актуальна в связи с отсутствием на данный момент времени моделей поражения, которые бы, с одной стороны, учитывали исходные данные и различные параметры задачи, а с другой стороны, позволили бы исследовать динамику боя в процессе имитационного мультиагентного моделирования.

Рассматривается способ моделирования боевых действий, который сочетает аналитические и стохас-

тические подходы к моделированию боевых действий. Стохастические подходы позволяют смоделировать взаимодействия объектов, между которыми имеются сложные зависимости, учесть случайные факторы, а аналитические – получить ответ для конкретной реализации таких взаимодействий.

Во многих современных моделях поражения цели, в том числе в тех, которые используются в компьютерных играх, ущерб, нанесенный цели, определяется аналитической формулой: количество попавших в цель пуль  $\times$  ущерб от одной пули. Другой подход основан на том, что уничтожение цели является случайным событием, разыгрываемым в результате статистических испытаний. Однако такие модели полностью исключают из рассмотрения всевозможные параметры, учитывающие сложные реальные зависимости и влияющие на результат моделирования, и, таким образом, не отражают в полной мере реальной картины мира.

Ключевыми сущностями в разработанной авторами модели являются стрелок, оружие и цель. При стрельбе из одного и того же образца оружия даже при строгом соблюдении одинаковых условий наблюдается рассеивание пуль, связанное со всевозможными систематическими и случайными ошибками (неточное определение координат цели; погрешность прицеливания; влияние метеорологических факторов и т. п.). Большинство факторов, от которых зависит рассеивание – это ошибки, подчиняющиеся нормальному закону распределения. Следовательно, точки попадания пуль также будут распределены по нормальному закону на плоскости попаданий (плоскости рассеивания). Площадь рассеивания имеет форму эллипса. Для дальнейшего понимания изложенного материала необходимо ввести некоторые понятия. Точка пересечения средней траектории пули с поверхностью цели называется средней точкой попадания (СТП) (рис. 1а). Взаимно перпендикулярные линии, проведенные через СТП так, чтобы одна из них совпадала с направлением стрельбы, называются осями рассеивания. Основной мерой рассеивания пули являются срединные отклонения по дальности, высоте и боковому направлению, обозначаемые буквами  $B_d, B_e, B_b$  соответственно. Если от какой-либо оси рассеивания в плоскости рассеивания отложить в обе стороны последовательно полосы, равные по ширине соответствующему срединному отклонению, то вся площадь рассеивания окажется

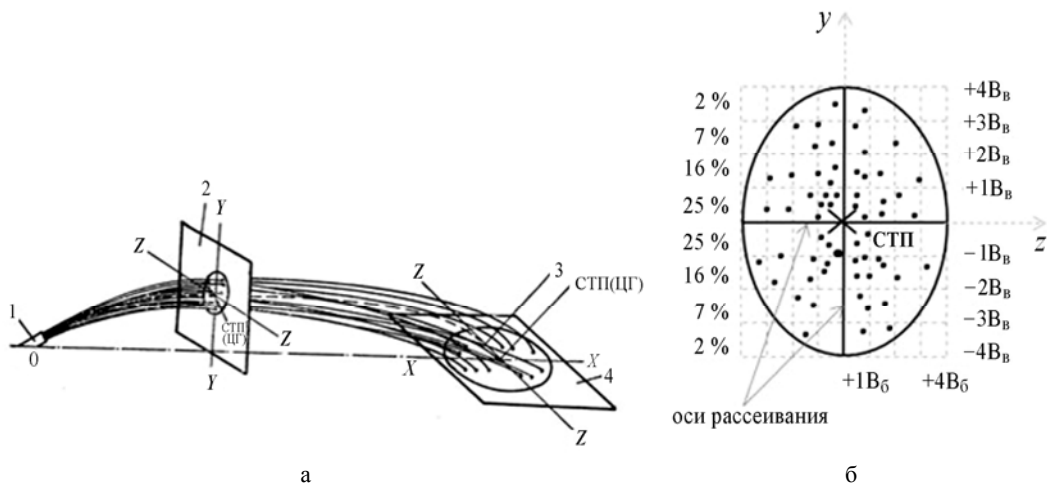


Рис. 1. Траектории пули и шкала рассеивания: а – траектории пули: 1 – ствол оружия, 2 – вертикальная плоскость попаданий, 3 – средняя траектория пули, 4 – горизонтальная плоскость попаданий; б – шкала рассеивания

разделенной на 8 полос, а полное рассеивание по любому направлению будет равно восьми средним отклонениям (рис. 1б). Отклонения от центра рассеивания могут превышать четыре средних отклонения, но вероятность их появления составляет менее 1%.

Величины средних отклонений зависят от расстояния до цели. Данные об этих величинах берутся из таблиц стрельбы для данного типа оружия [8]. Такие таблицы также содержат переходные коэффициенты изменения средних отклонений при изменении положения стрельбы.

Далее будет рассматриваться только вертикальная плоскость рассеивания – плоскость  $Oyz$ . Плотность вероятности точек попадания пули в этой плоскости имеет вид:

$$f(y, z) = \frac{\rho^2}{\pi B_B B_{\delta}} e^{-\rho^2 \left[ \left( \frac{y-y_c}{B_B} \right)^2 + \left( \frac{z-z_c}{B_{\delta}} \right)^2 \right]}, \quad (1)$$

где  $y_c, z_c$  – отклонение СТП от центра цели.

Чтобы найти вероятность попадания в цель, нужно проинтегрировать плотность вероятности из (1) по площади цели:

$$P = \iint_S f(y, z) dS. \quad (2)$$

Так для прямоугольной цели с полуразмерами  $a$  и  $b$  и сторонами, параллельными осям рассеивания, эта формула примет вид:

$$P = \frac{1}{4} \left[ \hat{\Phi} \left( \frac{y_c + a}{B_B} \right) - \hat{\Phi} \left( \frac{y_c - a}{B_B} \right) \right] \times \left[ \hat{\Phi} \left( \frac{z_c + b}{B_{\delta}} \right) - \hat{\Phi} \left( \frac{z_c - b}{B_{\delta}} \right) \right], \quad (3)$$

где  $\hat{\Phi} = \frac{2\rho}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-\rho^2 t^2} dt$  – приведенная функция Лапласа,  $\rho \approx 0,477$ .

Большинство реальных целей имеют сложную форму, отличную от прямоугольника. Если цель мала по сравнению с площадью рассеивания, то вероятность попадания рассчитывается по формуле:

$$P = k_{\Phi} P_1, \quad (4)$$

где  $k_{\Phi}$  – коэффициент фигурности, равный отношению площади цели к площади описанного прямоугольника,  $P_1$  – вероятность попадания в прямоугольник, описанный вокруг цели. В противном случае, вероятность попадания в цель рассчитывается по формуле (3), в которую вместо  $a$  и  $b$  подставляются приведенные полуразмеры цели. Приведенными называются размеры такого прямоугольника, вероятность попадания в который равна вероятности попадания в цель. Данные о приведенных размерах целей, о размерах описанных прямоугольников и коэффициентах фигурности даются в таблицах размеров целей [1, 3, 8].

Если известно среднее число попаданий, необходимое для поражения цели, а также число произведенных выстрелов, то полная вероятность поражения цели вычисляется по формуле:

$$W = 1 - \left( 1 - \frac{p_1}{\omega} \right) \left( 1 - \frac{p_2}{\omega} \right) \dots \left( 1 - \frac{p_n}{\omega} \right), \quad (5)$$

где  $p_1, p_2, \dots, p_n$  – вероятности попадания в цель 1-м, 2-м, ...,  $n$ -м выстрелом соответственно,  $\omega$  – число попаданий, необходимое для поражения цели.

Приведенная формула (5) справедлива в случае применения оружия для одиночной стрельбы, когда выстрелы можно считать независимыми. В случае применения автоматического оружия вычисления

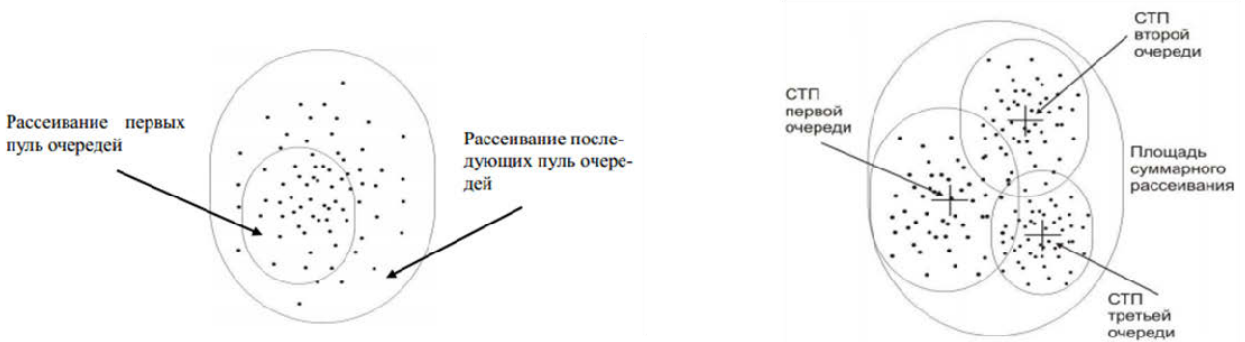


Рис. 2. Рассеивание при стрельбе очередями

значительно усложняются. Изучение рассеивания при стрельбе очередями, рис. 2, показало, что вследствие неоднобразного удержания оружия рассеиваются не только выстрелы в очереди, но и СТП очередей. А если автоматическое оружие без закрепляющего механизма, то еще и выделяется первый выстрел, что является результатом отдачи и реакции на отдачу при стрельбе. Формально это означает введение в рассмотрение срединных отклонений СТП  $B_{СТПв}$ ,  $B_{СТПб}$ , срединных отклонений первых пуль очереди  $B_{1в}$ ,  $B_{1б}$  и срединных отклонений последующих пуль очереди  $B_{в}$ ,  $B_{б}$ , которые также являются табличными данными.

Итак, при стрельбе из автоматического оружия вероятность поражения цели пвыстрелами вычисляется по формуле:

$$W = 1 - \left(1 - \frac{p_1}{\omega}\right) (1 - W_{n-1}), \quad (6)$$

где  $p_1$  – вероятность попадания первым выстрелом очереди,  $W_{n-1}$  – вероятность поражения цели последующими выстрелами очереди, которая в свою очередь рассчитывается по формуле:

$$W_{n-1} = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left[1 - \frac{p(y_c, z_c)}{\omega}\right]^{n-1} \times \\ \times \frac{\rho^2}{\pi B_{СТПв} B_{СТПб}} e^{-\rho \left(\frac{y_c^2}{B_{СТПв}^2} + \frac{z_c^2}{B_{СТПб}^2}\right)} dydz, \quad (7)$$

где  $p(y_c, z_c)$  – вероятность попадания последующим выстрелом (считаем, что вероятности попадания последующих выстрелов равны).

Интеграл в формуле (7) не берется аналитически, поэтому необходимо производить численное интегрирование.

Как было сказано ранее, стрельба сопровождается различными ошибками [0]. В разработанной авторами модели учитывались следующие ошибки стрельбы: приведения оружия к нормальному бою, округления установки прицела, определения дальности до цели, определения поправок на температуру

воздуха и заряда, определения поправок на ветер, определения скорости цели, ошибки наводки. В силу громоздкости вычисления данных ошибок не приводятся в настоящем докладе. В формулах учитывается суммарная ошибка стрельбы, добавленная определенным образом к срединным отклонениям.

Зная, как вычислять вероятность поражения цели, можно решать различные задачи с заданным набором целей и стрелков.

Стоит выделить особые случаи расчета вероятности поражения цели, а именно случаи вооруженных столкновений таких типов как:

- 1) дуэль;
- 2) подразделение против подразделения;
- 3) стрелок против групповой цели.

Далее будет кратко описано вычисление вероятности поражения цели в каждом из этих случаев.

### Дуэль

В дуэльном бою участвуют две тактические единицы, каждая из которых одновременно является и стрелком, и целью. Пусть одна из участвующих сторон обозначается буквой  $A$ , другая – буквой  $B$ . Состояние дуэли будет характеризоваться парой чисел  $(i, j)$ , где  $i$  – номер очередного выстрела, который предстоит сделать стороне  $A$ ,  $j$  – номер очередного выстрела стороны  $B$ . При определенных предположениях можно рассматривать состояния дуэли как состояния марковской цепи. Система дифференциальных уравнений, описывающая полученную марковскую цепь для случая стрельбы из автоматического оружия с выделенным первым выстрелом, имеет вид (промежуточные выкладки опущены) [2]:

$$\begin{cases} \frac{dw_{11}}{dt} = \lambda_1 p_1 + \lambda_1 (1 - p_1) w_{21} + \lambda_2 (1 - q_1) w_{12} - (\lambda_1 + \lambda_2) w_{11}, \\ \frac{dw_{12}}{dt} = \lambda_1 p_1 + \lambda_1 (1 - p_1) w_{22} - (\lambda_1 + \lambda_2 q_2) w_{12}, \\ \frac{dw_{21}}{dt} = \lambda_1 p_2 - (\lambda_1 p_2 + \lambda_2) w_{21} + \lambda_2 (1 - q_1) w_{22}, \\ \frac{dw_{22}}{dt} = \lambda_1 p_2 - (\lambda_1 p_2 + \lambda_2 q_2) w_{22}. \end{cases} \quad (8)$$

Использованные обозначения:  $w_{ij}(t)$  – вероятность победы стороны  $A$  (поражения стороны  $B$ ) в дуэли, начавшейся в состоянии  $(i, j)$ , за время  $t$ ,  $\lambda_1, \lambda_2$  – боевые скорострельности оружия сторон  $A$  и  $B$  соответственно,  $p_i$  – вероятность поражения противника стороной  $A$   $i$ -м выстрелом,  $q_i$  – вероятность поражения противника стороной  $B$   $i$ -м выстрелом.

Принятые предположения: условия столкновения не меняются, когда номера очередных выстрелов больше 1, то есть выполняются условия: при любом  $i \geq 2$  и любых  $j$   $w_{ij}(t) = w_{i2}(t)$ , при любых  $i$  и любом  $j \geq 2$   $w_{ij}(t) = w_{i2}(t)$ ;  $p_2 = p_3 = p_4 = \dots = p_n$ .

Решая систему (8) при начальных условиях  $w_{ij}(0) = 0$  для любых  $(i, j)$ , получим значение  $w_{11}(t)$  – вероятность победы стороны  $A$  в дуэли за время  $t$ . Вероятность победы стороны  $B$  за время  $t$  равна  $1 - w_{11}(t)$ .

### Стрелок против групповой цели

Групповая цель состоит из  $m$  одинаковых одиночных целей, равномерно расположенных на фронте шириной  $B$  (рис. 3).

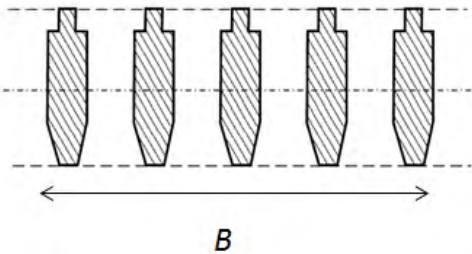


Рис. 3. Схематическое изображение групповой цели

Пусть цели живые, а попадание в такую цель равносильно ее поражению. При стрельбе из автоматического оружия по групповой цели с рассеиванием по фронту или в глубину вычисляется по формуле [1, 3]:

$$p = 1 - (1 - p_m)^{\frac{N}{m}} \quad (9)$$

где  $p_m$  – вероятность поразить хотя бы одну из элементарных целей,  $N$  – число выстрелов.

$$\text{При рассеивании по фронту } p_m = \frac{2\bar{b}m\hat{\Phi}\left(\frac{\bar{a}}{E_y}\right)}{B + 3E_{cz}}$$

$$\text{а при рассеивании в глубину } p_m = \frac{2\bar{a}m\hat{\Phi}\left(\frac{\bar{b}}{E_z}\right)}{B + 3E_{cz}}$$

где  $2\bar{a}, 2\bar{b}$  – приведенные высота и ширина одиночной цели,  $E_y, E_z$  – суммарные ошибки стрельбы по высоте и боковому направлению,  $E_{cz} = \sqrt{E_z^2 - B_0^2}$ .

Математическое ожидание числа пораженных одиночных целей равно  $M = m \cdot p$ .

### Подразделение против подразделения

Рассматривается стрельба подразделения, состоящего из  $C$  стрелков с однотипными образцами оружия, в  $\Pi$  целей, вероятность поражения каждой из которых одним образцом вооружения равна  $W$ . Принципиально могут быть два случая:  $\Pi \geq C$  (изобилие целей) и  $\Pi < C$  (недостаток целей) [1]. Первый случай соответствует оборонительному бою, второй случай отвечает наступательному бою. В каждом из этих случаев распределение целей по стрелкам может быть различным: организованным или неорганизованным. Организованное целераспределение предполагает, что на каждую цель назначается один или несколько стрелков, а неорганизованное – что каждый стрелок выбирает себе цель, при этом возможно, что часть целей окажется необстрелянной, тогда как по другим целям сосредоточат огонь несколько стрелков.

Пусть  $M$  – математическое ожидание числа пораженных целей.

При  $\Pi \geq C$ :

– для организованного целераспределения:  
 $M = C \cdot W$ ;

– для неорганизованного целераспределения:  
 $M = \Pi \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \frac{W}{\Pi} \right)^{\Pi} \right]$ .

При  $\Pi < C$ :

– для организованного целераспределения:  
 $M = \Pi \cdot \left[ 1 - (1 - W)^k (1 - W\alpha) \right]$ ,  $\frac{C}{\Pi} = k + \alpha$ ,  $k$  – целое

число,  $\alpha$  – правильная дробь;

– для неорганизованного целераспределения:  
 $M = \Pi \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \frac{W}{\Pi} \right)^{\Pi} \right]$ .

Представленные выше аналитические зависимости позволяют охватить различные случаи вооруженных столкновений и учесть всевозможные реальные параметры. Однако имеются случайные факторы, учитывать которые целесообразно путем разыгрывания в процессе имитационного моделирования боевых действий. Это могут быть различные параметры в зависимости от постановки решаемой задачи, например, время начала стрельбы, момент поражения боевой единицы, вероятность поражения цели (в случае поиска момента поражения) и т. д. Кроме того, поражение цели является случайным событием, и, зная лишь вероятность наступления этого события, нельзя дать ответ, уничтожена цель

или нет. Однако для практических задач именно такой ответ представляет интерес. В связи с этим, был разработан генератор, позволяющий на основании рассчитанной вероятности поражения цели получить нужный ответ – уничтожена цель или нет. Принцип работы генератора ответа заключается в следующем: генерируется случайное число на отрезке [0;100]; это число сравнивается с рассчитанной вероятностью поражения цели; если оно меньше или равно рассчитанной вероятности, то генератор выдает ответ «цель уничтожена», в противном случае ответ – «цель не уничтожена».

Описанная выше модель вооруженных столкновений реализована на языке программирования C++ в виде библиотеки, что позволяет ее использовать при разработке программных продуктов. Принцип работы библиотеки следующий. Некоторый сервис, получая в качестве входных данных характеристики стрелков, характеристики оружия, имеющегося у стрелков, характеристики целей и параметры, характеризующие внешние условия, выдает нужный результат в зависимости от постановки задачи. Сервис может быть реализован как класс или метод класса.

В библиотеке реализованы следующие основные классы:

1) класс *Shot* – реализует объект «Стрелок». В классе предусмотрено управление следующими характеристиками стрелка:

- уровень стрелка: лучший, средний;
- позиция стрелка: лежа с упора, лежа с руки, на ходу без остановки и т.д.;
- расстояние до цели;
- состояние: атака, оборона;
- номер цели, по которой производится стрельба;

2) класс *Weapon* – реализует объект «Оружие» и имеет два класса-наследника: *Weapon\_SingleShot* и *Weapon\_Automatic*. Класс *Weapon\_SingleShot* предназначен для реализации объекта «неавтоматическое оружие», а класс *Weapon\_Automatic* – для реализации объекта «автоматическое оружие». От этих классов, в свою очередь, наследуются классы оружия определенного типа. Таким образом, имеется возможность, как задать свой тип оружия, так и выбрать из предусмотренных в библиотеке типов. На рис. 4 представлена диаграмма, отображающая связь между классами, реализующими объект «Оружие».

Управляемые параметры в классе *Weapon*:

- ошибки стрельбы: поправки на температуру, скорость ветра, скорость и направление движения цели, ошибка определения дальности до цели и др.
- боевая скорострельность (если необходимо для расчета в заданной постановке).

Управляемые параметры в классе *Weapon\_SingleShot*:

- число выстрелов;
- характеристики рассеивания.

Управляемые параметры в классе *Weapon\_Automatic*:

– для автоматического огня: число очередей, число выстрелов в очереди;

- характеристики рассеивания;
- для одиночной стрельбы: число выстрелов.

В случае выбора определенного типа оружия характеристики рассеивания и различные поправки к ним не задаются, а считываются из файла в формате \*.csv. Кроме того, для некоторых из данных объектов имеется возможность выбрать подтип задаваемого оружия. Например, для автомата Калашникова: АК74, АКС74, АКМ, АКМС, АКМ или АКМС с прибором для беззвучной и беспламенной стрельбы ПБС-1;

3) класс *Target* – реализует объект «Цель».

Управляемые параметры:

- тип цели: головная фигура, грудная фигура, поясная фигура, бегущая фигура, пулемет, пехота в автомобиле и т. д.;
- размеры цели, если тип цели не задан;
- скорость цели;
- направление движения цели;
- номер цели;
- количество выстрелов, необходимое для поражения цели;

4) класс *Conditions* – позволяет задавать внешние условия боя. Управляемые параметры:

- температура;
- скорость продольного ветра;
- скорость бокового ветра.

Кроме названных основных классов были реализованы вспомогательные – *TargetShoti* и *Shot\_with\_Weapon*.

Класс *TargetShot* предназначен для работы с объектом, реализующим одновременно и цель, и стрелка.

Класс *Shot\_with\_Weapon* позволяет рассматривать стрелка и имеющееся у него оружие как один объект.

Все фигурирующие в расчетах табличные данные хранятся в файлах формата \*.csv.

Реализованная в библиотеке модель предоставляет возможности для проведения расчетов в следующих постановках:

1) один стрелок и одна цель, сосредоточенный огонь:

- стрельба одиночными выстрелами;
- автоматический огонь очередями.

Расчет вероятности поражения цели;

2) несколько стрелков и одна цель, сосредоточенный огонь.

Расчет:

- вероятности поражения цели;
- момента поражения цели (вероятность поражения разыграна заранее);
- вероятностей поражения цели за время t (при заданных скорострельностях оружия);
- вероятностей поражения цели при заданном числе выстрелов для каждого стрелка;

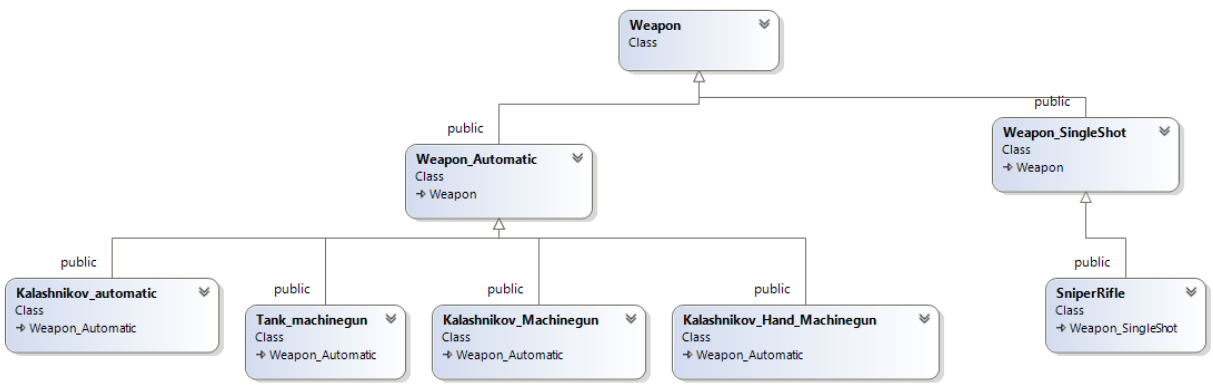


Рис. 4. Диаграмма классов для реализации объекта «Оружие»

3) несколько стрелков и несколько целей. Расчет:

- момента поражения каждой цели (при условии, что вероятности поражения каждой из целей известны);
- вероятностей поражения каждой из целей за время  $t$  (при заданных скорострельностях оружия);
- вероятностей поражения каждой из целей при заданном числе выстрелов для каждого стрелка;
- уничтожена/не уничтожена каждая из целей;

4) стрельба с рассеиванием по фронту: один стрелок с автоматическим оружием и группа одинаковых целей (групповая цель).

Расчет вероятности поражения групповой цели и математического ожидания числа пораженных целей;

5) стрельба с рассеиванием в глубину: один стрелок с автоматическим оружием и группа одинаковых целей (групповая цель), автоматическое оружие.

Расчет вероятности поражения групповой цели и математического ожидания числа пораженных целей;

6) стрельба подразделением: группа одинаковых стрелков на группу одинаковых целей. Подзадачи:

- случай изобилия целей;
- случай избытка стрелков.

Расчет математического ожидания числа пораженных целей;

7) дуэль: один стрелок с оружием против другого стрелка с оружием. Марковский процесс.

Расчет вероятностей поражения каждого из участников дуэли.

Необходимые расчеты и результаты в библиотеке обеспечивают сервисы *Damage*, *GroupTarget*, *Subdivisions*, *Duel*:

– сервис *Damage* – является базовым сервисом. Позволяет получать результат в постановках 1, 2, 7, 8 из списка выше;

– сервис *GroupTarget* – обеспечивает результат при наличии групповой цели и может быть использован в постановках 3 и 4;

- сервис *Subdivisions* – обеспечивает результат в таких задачах, когда в боевых действиях участвуют подразделения (пункт 5 из списка решаемых задач);
- сервис *Duel* – предназначен для моделирования дуэльного боя (пункт 6 из списка решаемых задач).

Для демонстрации работы библиотеки рассмотрен следующий пример.

Пять стрелков с автоматами Калашникова АК74 из положения стоя с руки ведут огонь тремя очередями по пять выстрелов. Уровень каждого из стрелков – средний. Цели представляют собой бегущие фигуры. Количество целей – пять. Ошибки стрельбы не учитываются. Расстояния стрелков до целей и номера целей, по которым ведут огонь стрелки, выбраны случайным образом.

Результаты расчета данной задачи представлены на рис. 5а.

Две цели с номерами 1, 2 были уничтожены. Кроме того, прослеживается зависимость: чем больше расстояние от стрелка до цели, тем меньше вероятность поражения.

Таким образом, в модели обеспечена возможность управления характеристиками стрелков, характеристиками оружия, которым они обладают, характеристиками целей и параметрами внешней среды. Кроме того, реализованы различные формы вооруженных столкновений: дуэль (один стрелок против одной цели), группа стрелков против одной цели, один стрелок против групповой цели в случае стрельбы с рассеиванием по фронту и с рассеиванием в глубину, подразделение против подразделения, группа стрелков против группы целей. Результатом моделирования в зависимости от постановки задачи может быть вероятность поражения каждой из тактических единиц, участвующих в бою, за данное время, математическое ожидание числа пораженных единиц в групповой цели, время уничтожения каждой боевой единицы, а также ответ, уничтожена ли каждая из целей или нет. Приведенные аналитические зависимости позволяют учесть различные реальные параметры, что делает моделирование доста-

Стрелок № 1	ведёт огонь по цели №2	с расстояния 266 м
Стрелок № 2	ведёт огонь по цели №3	с расстояния 863 м
Стрелок № 3	ведёт огонь по цели №5	с расстояния 657 м
Стрелок № 4	ведёт огонь по цели №1	с расстояния 454 м
Стрелок № 5	ведёт огонь по цели №4	с расстояния 338 м

### Результаты расчёта:

Номер цели: 1	Вероятность поражения: 0.42869	Цель уничтожена
Номер цели: 2	Вероятность поражения: 0.79503	Цель уничтожена
Номер цели: 3	Вероятность поражения: 0.13955	Цель не уничтожена
Номер цели: 4	Вероятность поражения: 0.63285	Цель не уничтожена
Номер цели: 5	Вероятность поражения: 0.23443	Цель не уничтожена

Рис. 5. Результаты расчета тестовой задачи

точно точным, а разыгрывание случайных величин – учесть случайные факторы.

Планируется внедрение разработанной модели в программную визуализационно-интеграционную платформу «ОптИМУС» (ВИП «ОптИМУС»)[0].

### Литература

1. Шерешевский М. С., Гонтарев А. Н., Минаев Ю. В. Эффективность стрельбы из автоматического оружия. М.: ЦНИИ информации, 1979.
2. Ткаченко П. Н. Математические модели боевых действий. М.: Советское радио, 1969.
3. Губин С. Г. Эффективность стрельбы из вооружения боевых машин и стрелкового оружия. Новосибирск: СГГА, 2012.
4. Анисимов В. Г., Анисимов Е. Г., Осипенков М. Н., Селиванов А. А., Чварков С. В. Математические методы и модели в военно-научных исследованиях. Часть 1. М.: Военная академия Генерального штаба Вооруженных Сил РФ, 2017.
5. Анисимов В. Г., Анисимов Е. Г., Осипенков М. Н., Селиванов А. А., Чварков С. В. Математи-

ческие методы и модели в военно-научных исследованиях. Часть 2. М.: Военная академия Генерального штаба Вооруженных Сил РФ, 2017.

6. Волгин Н. С. Исследование операций. Часть 2. СПб.: Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова, 1999.

7. Вентцель Е. С. Исследование операций. М.: Советское радио.

8. Таблицы стрельбы по наземным целям из стрелкового оружия калибров 5,45 и 7,62 мм / ТС/ГРАУ № 61. Издание второе, дополненное. М.: Воениздат СССР, 1977.

9. Коваленко О. В., Крючков И. А., Ежов Д. В., Огородников А. В., Ерошкина И. В., Собанин Д. С., Хочкин Н. И., Варгина Е. Ф., Тихомиров Ю. В., Рыжих А. В., Васильева Е. А., Кондратьев А. Б. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019617157 «Визуализационно-интеграционная платформа для оптимизационного имитационного моделирования и управления системами (ВИП «ОптИМУС»)), правообладатель – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ».