

**К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ
ОГНЕВОЙ ЗАДАЧИ ПОРАЖЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**ON THE ISSUE OF EVALUATING THE EFFECTIVENESS
OF THE FIRE TASK OF HITTING MOBILE OBJECTS**

Л.С. Набокин

L.S. Nabokin

3 ЦНИИ МО РФ

В статье описаны проблемные вопросы существующего подхода к оценке эффективности выполнения огневой задачи поражения мобильного объекта, выявленные по результатам системного анализа процесса поражения мобильного объекта. Предложена система показателей эффективности, заключающаяся в учете ущерба, наносимого противнику в рамках выполнения задач по поражению мобильных объектов за время проведения боевых действий, которая позволяет комплексно оценить влияние каждой компоненты разведывательно-огневой системы, а также внешних факторов. Для расчета предложенной системы показателей разработана методика, основанная на синтезе методов теории массового обслуживания и имитационного моделирования, предложена концептуальная схема имитационной модели разведывательно-огневой системы поражения мобильного объекта.

Ключевые слова: разведывательно-огневая система, поражение мобильного объекта, правила стрельбы и управления огнем, эффективность стрельбы.

The article describes problematic issues of the existing approach to assessing the effectiveness of the fire task of hitting a mobile object, identified by the results of a system analysis of the process of hitting a mobile object. A system of performance indicators is proposed, which consists in taking into account the damage inflicted on the enemy as part of the tasks of defeating mobile objects during combat operations, which allows a comprehensive assessment of the impact of each component of the reconnaissance and fire system, as well as external factors. To calculate the proposed system of indicators, a methodology based on the synthesis of methods of queuing theory and simulation modeling have been developed, a conceptual scheme of a simulation model of a reconnaissance and firing system for hitting a mobile object has been proposed.

Keywords: reconnaissance and fire system, hitting of a mobile object, rules of shooting and fire control, firing efficiency.

Поражение мобильного объекта является одной из наиболее сложных огневых задач, выполняемых артиллерийскими формированиями Сухопутных войск. Необходимость учета фактора движения цели значительно усложняет реше-

ние задач корректирования огня и расчета установок для стрельбы.

Для своевременного получения достоверной информации о положении и состоянии объекта поражения необходимо привлечение средств

разведки. Таким образом формируются разведывательно-огневые системы поражения мобильных объектов (далее — РОС ПМО), состоящие из трех компонент: средств разведки, управления и поражения. При этом, исходя из концепции и динамики проводимой операции, структура РОС ПМО может варьироваться.

Для определения наиболее рационального варианта построения данных систем при планировании огневого поражения противника ракетными войсками и артиллерией производится оценка эффективности выполнения огневых задач с применением РОС ПМО.

Из результатов проведенного анализа процесса поражения мобильного объекта следует, что в интересах решения поставленных задач исследования необходимо применение такого метода оценки эффективности функционирования разведывательно-огневой системы поражения мобильных объектов, который бы учитывал:

1) временные и точностные параметры функционирования компонент разведывательно-огневой системы;

2) взаимное распределение движущихся объектов противника и создаваемых разрывов в районе цели во времени и пространстве;

3) параметры форм и способов выполнения огневой задачи.

Способы определения показателя эффективности выполнения огневых задач с точки зрения методики их расчета можно разделить на три группы:

- 1) аналитические (приближенные) способы;
- 2) способ численного интегрирования;
- 3) способ статистического моделирования.

В ходе анализа действующей научно-методической документации установлено, что в настоящее время в основном применяются аналитические способы, в рамках которых показателем эффективности является «математическое ожидание относительного числа пораженных целей», который рассчитывают на основании теоремы «математическое ожидание относительного числа пораженных целей есть не что иное, как средняя вероятность поражения любой элементарной цели, входящей в состав групповой», при этом принимают ряд допущений [3–7]:

1) все цели в пределах групповой расположены равномерно;

2) все отдельные цели имеют одинаковую уязвимость, и для поражения каждой из них требуется хотя бы одно попадание.

Расчет показателя эффективности стрельбы по движущейся групповой цели проводят по формуле:

$$M = \Phi\left(\frac{\Gamma_{зрп}}{2E'_{\sigma_0}}\right) \cdot \Phi\left(\frac{\Phi_{зрп}}{2E'_{H_0}}\right) \times \left[1 - \exp\left(-\frac{N \cdot S_n \cdot \tau(l, m)}{\Gamma_{зрп} \times \Phi_{зрп}}\right)\right],$$

где $\Gamma_{зрп}$, $\Phi_{зрп}$ — размеры зоны равномерного рассеивания снарядов;

E'_{σ_0} , E'_{H_0} — сведенные срединные ошибки стрельбы;

N — расход снарядов;

S_n — приведенная площадь поражения.

Для этого производится ряд операций.

1. Сведение стрельбы по движущейся групповой цели к стрельбе по неподвижной групповой цели, путем учета при определении сведенных срединных ошибок стрельбы E'_{σ_0} , E'_{H_0} срединных ошибок в определении точки встречи.

2. Сведение стрельбы по групповой цели к стрельбе по отдельной цели.

3. Сведение стрельбы артиллерийским подразделением к стрельбе отдельным орудием.

4. Сведение стрельбы на нескольких установках прицела и угломера к стрельбе по одной точке прицеливания.

5. В зависимости от соотношения величин срединных ошибок подготовки и величин технического рассеивания действительный закон распределения снарядов заменяется либо нормальным, либо равномерным.

Разведывательно-огневая система поражения мобильного объекта включает в себя подсистему разведки, управления и поражения. Однако, проведя анализ предложенной зависимости, нетрудно убедиться, что изложенный подход учитывает лишь факторы, влияющие на компоненту поражения. Наглядно это отражено на рис. 1. При этом темно-серым цветом выделены характеристики, учитываемые аналитическими зависимостями, светло-серым — учитываемые не в полном объеме, серым — не учитываемые полностью.

Время выполнения ОгЗ	Время расчета траектории движения	Время производства одной засечки
		Необходимое количество засечек
		Время обработки информации
		Время передачи информации
	Время формирования точек встречи	
	Время расчета УДС и параметров способа обстрела	
Время подготовки выстрела		Время передачи информации
		Время наведения
		Время заряжания
Эффективность стрельбы	Ошибки выстрела	Техническое рассеивание
		Ошибки подготовки
	Ошибки в определении точки прицеливания	Ошибка в расчете траектории движения
		Ошибка в определении упредительного времени
		Ошибка в определении скорости движения цели
	Ошибки в определении способа обстрела	Ошибки определения параметров цели
Ошибки корректировки	Ошибки определения координат разрывов	
	Ошибки подготовки	
Могущество боеприпаса		
Количество привлекаемых сил и средств	Количество средств поражения	
	Количество боеприпасов	
Параметры способа обстрела	Количество и координаты точек прицеливания	

Рис. 1. Результаты анализа учета факторов процесса поражения мобильного объекта в используемых подходах оценки эффективности

Из результатов проведенного анализа следует, что существующие аналитические методы оценки эффективности стрельбы полностью не учитывают временной фактор и ряд точностных параметров, связанных с движением цели. Это объясняется принятым допущением в ходе применения указанного метода о статичном состоянии объекта поражения.

Таким образом, используемый в настоящее время показатель эффективности выполнения огневой задачи поражения мобильного объекта не в полной мере соответствует цели функционирования РОС ПМО, а методика его расчета не в полной мере учитывает затраты на решение возложенных задач огневого поражения противника.

Учитывая изложенное, использование существующих подходов к оценке эффективности выполнения огневой задачи по поражению колонн не позволяет формировать обоснованные решения об эффективности того или иного варианта её выполнения. Следовательно, существует потребность в разработке нового показателя эффективности выполнения огневой задачи поражения колонн и методики его расчета.

При разработке нового показателя эффективности необходимо руководствоваться методами системного подхода, требующего оценивать решение по влиянию на конечный результат. При этом важно учитывать, что новый показатель гарантирует ощутимое повышение эффективности практических рекомендаций, выработанных на его основе, в сравнении с рекомендациями, получаемыми с помощью имеющегося показателя.

Любая из рекомендаций по боевому применению РВиА направлена на повышение степени реализации их возможностей по огневому поражению противника. Поэтому в соответствии с системой показателей эффективности каждой из них можно измерить величиной влияния на ущерб, наносимый противнику [2]:

$$M[\xi] = \sum W_{O3},$$

Однако процесс выполнения огневой задачи поражения мобильного объекта характеризуется высокой стохастичностью процессов, поэтому в ходе выработки рекомендаций по вариантам её выполнения невозможно заранее предсказать ни

количество выполненных задач за интересующий промежуток времени, ни величину потерь, которые понесет противник в результате выполнения той или иной огневой задачи. Учитывая это обстоятельство показатель эффективности боевого применения разведывательно-огневой системы поражения мобильного объекта может определяться по формуле:

$$W_{\text{БП}} = M[\gamma] \cdot M[W_{\text{ОЗ}}],$$

где $M[\gamma]$ — математическое ожидание количества выполненных огневых задач за рассматриваемый период боевых действий;

$M[W_{\text{ОЗ}}]$ — математическое ожидание ущерба, наносимого противнику в расчете на одну выполненную огневую задачу.

Данный показатель позволяет учитывать полный перечень технических характеристик объектов, входящих в состав РОС ПМО и оказывающих существенное влияние на качество выполнения огневой задачи, а также полный спектр внешних условий и стохастичность процессов, протекающих в ходе применения РОС ПМО по назначению.

С точки зрения методики расчета $M[\gamma]$ разведывательно-огневую систему, выполняющую ряд огневых задач, можно представить как одноканальную систему массового обслуживания (СМО) с ограничением на время ожидания. В таком случае в качестве заявок выступают обнаруженные цели, а ограничением — предельное время с момента обнаружения цели до момента открытия огня, по истечении которого принимается решение об отказе от ее обстрела. Соответственно такая СМО будет обладать следующими характеристиками [1]:

– интенсивность потока заявок — есть интенсивность получения обнаруженных объектов от компоненты разведки:

$$\lambda = \lambda_p;$$

– интенсивность потока обслуживания — есть величина обратная среднему времени выполнения огневой задачи по одной цели:

$$\mu = \frac{1}{m[t_{\text{ОЗ}}]};$$

– интенсивность отклонения заявок — есть величина обратная среднему предельному вре-

мени с момента обнаружения цели до момента открытия огня, по истечении которого принимается решение об отказе от ее обстрела:

$$v = \frac{1}{m[t_{\text{пр}}]};$$

– абсолютная пропускная способность системы, рассчитываемая по формуле:

$$A = \lambda - v \cdot r,$$

где r — среднее число заявок в очереди, рассчитываемое по формуле:

$$r = \frac{\rho^2}{1 - \rho},$$

где $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ — параметр СМО.

Следовательно математическое ожидание количества выполненных огневых задач за рассматриваемый период боевых действий с учетом совершения противоогневых маневров определяется по формуле:

$$M[\gamma] = A \cdot T_{\text{ОЗ}},$$

где $T_{\text{ОЗ}}$ — время, в течение которого выполняются огневые задачи.

При этом $T_{\text{ОЗ}}$ может быть определено по формуле:

$$T_{\text{ОЗ}} = T - k_{\text{сменОП}} \cdot m[t_{\text{сменыОП}}];$$

$$k_{\text{сменОП}} = \frac{T}{m[t_{\text{ОП}}] + m[t_{\text{сменыОП}}]},$$

где $k_{\text{сменОП}}$ — возможное количество смен огневых позиций;

$m[t_{\text{сменыОП}}]$ — время, затрачиваемое на смену огневой позиции;

$m[t_{\text{ОП}}]$ — время работы на одной огневой позиции.

Учитывая тот факт, что за рассматриваемый период боевых действий РОС ПМО выполняет огневые задачи по целям различного типа (батальонные, ротные, взводные колонны, отдельные группы мотопехоты), формулы для определения величин $m[t_{\text{ОЗ}}]$ и $m[t_{\text{пр}}]$ можно записать в следующем виде:

$$m[t_{\text{ОрЗ}}] = \sum_{i=1}^{n_{\text{ти}}} m[t_{\text{ОрЗ}i}] \cdot P_{\text{ОЗ}i};$$

$$m[t_{\text{пр}}] = \sum_{i=1}^{n_{\text{ти}}} m[t_{\text{пр}i}] \cdot P_{\text{ОЗ}i},$$

где $m[t_{\text{ОрЗ}i}]$ — математическое ожидание времени, затрачиваемого подразделением на выполнение задачи, связанной с поражением цели i -го типа;

$m[t_{\text{пр}i}]$ — среднее предельное время с момента обнаружения цели i -го типа до открытия огня по ней, по истечении которого принимается решение об отказе от ее обстрела;

$P_{\text{ОЗ}i}$ — вероятность того, что будет выполнена огневая задача (ОрЗ) по i -му типу цели;

$n_{\text{ти}}$ — количество типов целей.

$$P_{\text{ОЗ}i} = \frac{k_i}{k_T},$$

где k_i — возможное количество целей i -го типа за рассматриваемый период боевых действий;

$k_{\text{ОЗ}}$ — общее количество целей за рассматриваемый период боевых действий.

Главной задачей артиллерии является нанесение ущерба противнику. Поэтому, учитывая групповой характер целей в рамках выполнения огневой задачи поражения колонн, в качестве показателя математического ожидания ущерба, наносимого противнику в расчете на одну выполненную задачу, выбрано математическое ожидание пораженных целей из состава групповой. Однако стоит помнить, что в качестве показателя эффективности выбран показатель $W_{\text{БП}}$ — показатель эффективности боевого применения РОС за рассматриваемый период боевых действий. В ходе боя (операции) РОС ПМО выполняет задачи по поражению целей различных по своим размерам (взводная, ротная, батальонная колонны), поэтому показателем эффективности отдельной огневой задачи будет являться математическое ожидание относительного числа пораженных целей из состава групповой.

$$M[W_{\text{ОЗ}}] = \sum_{i=1}^{n_{\text{ти}}} \frac{M[a]_i}{n_i} \cdot P_{\text{ОЗ}i},$$

где $M[a]_i$ — математическое ожидание числа пораженных объектов из состава групповой цели i -го типа;

n_i — среднее количество элементарных объектов в групповой цели i -го типа.

Из теории эффективности стрельбы известно, что математическое ожидание числа пораженных целей равно сумме вероятностей их поражения [5].

$$M[a] = \sum_{i=1}^n P_i,$$

где n — количество элементарных целей из состава групповой;

P_i — вероятность поражения элементарной цели.

Ввиду того, что огневая задача может выполняться в несколько огневых налетов несколькими орудиями с установленным расходом снарядов, в соответствии с теорией вероятности можно записать [8]:

$$M[a] = \sum_{i=1}^n \left[1 - \sum_{v=1}^{n_{\text{ОН}}} \left[\prod_{j=1}^{k \cdot N_v} (1 - P_{vij}) \right] \right],$$

где P_{vij} — вероятность поражения i -й цели j -м разрывом в v -м огневом налете;

$n_{\text{ОН}}$ — количество огневых налетов;

k — количество орудий;

N_v — расход снарядов на одно орудие в v -м огневом налете;

Процесс поражения движущейся цели — это процесс поиска точки встречи снаряда и поражаемого объекта, поэтому величина P_{vij} зависит от двух независимых случайных событий:

– получение разрыва в точке прицеливания с координатами (x, z) в момент времени t ;

– нахождение цели в приведенной зоне поражения площадью $2l \times 2m$ и центром в точке прицеливания с координатами (x, z) в момент времени t .

С учетом изложенного формулу вероятности поражения элементарной i -й цели j -ым разрывом можно записать как:

$$P_{vij} = \int_{x-l}^{x+l} \int_{z-m}^{z+m} (U_{vi}(x, z, t) dx dz) \cdot R_{vj}(x, z, t),$$

где $U_{vi}(x, z, t)$ — плотность распределения i -й цели в v -м огневом налете;

$R_{vj}(x, z, t)$ — плотность распределения j -го разрыва в v -м огневом налете;

l, m — приведенные размеры цели.

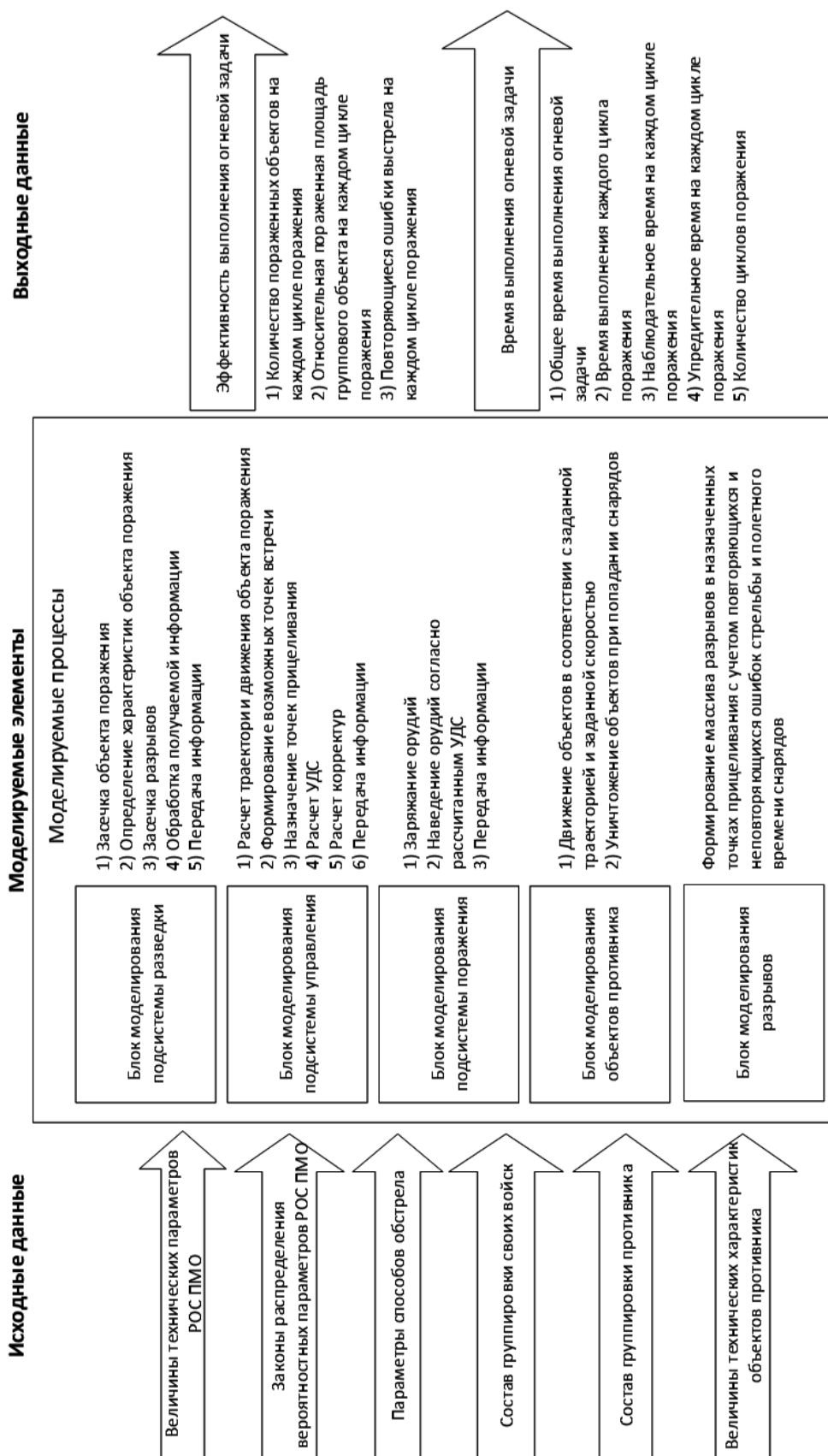


Рис. 2. Общая схема имитационной модели огневой задачи поражения мобильного объекта

Наличие в полученном соотношении параметра t приводит к проведению довольно трудоемких расчетов для вычисления предложенного показателя эффективности, поэтому целесообразно применить метод статистического моделирования, а именно метод имитационного моделирования.

Суть подхода заключается в проведении нескольких прогонов модели, общая схема которой представлена на рис. 2, и последующей статистической обработке полученных результатов.

Таким образом, предложенная система показателей оценки эффективности поражения мобильных объектов и методика их расчета, основанные на комплексном использовании аппарата теории массового обслуживания и теории эффективности стрельбы, позволяют учесть основные факторы, оказывающие существенное влияние на конечный результат выполнения огневой задачи, и могут быть использованы как в ходе планирования огневого поражения противника, так и в рамках комплексных методик обоснования требований к разрабатываемым (модернизируемым) образцам вооружения, военной и специальной техники РВиА.

Литература

1. Вентцель Е.С. Исследование операций. — М: Советское радио, 1972. 550 с.
2. Бобриков А.А. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии. — СПб.: «Галея Принт», 2006. 424 с.
3. Дмитриев П.С. Теория стрельбы по движущимся целям. — М.: 1950. 127 с.
4. Фендриков Н.М., Яковлев В.И. Методы расчетов боевой эффективности вооружения. — М.: Воениздат Министерства ВС СССР, 1971. 224 с.

5. Паршин Ж.П. Теория боевой эффективности вооружения. — М.: 1994. 314 с.

6. Мусин А.Г. Оценка эффективности ударов и огня ракетных войск и артиллерии. — СПб.: МВАА, 2011. 127 с.

7. Барковский А.Ф. Основы оценки эффективности и выработки рекомендаций по поражению целей огнем артиллерии. — СПб.: ВАУ, 306 с.

8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. — М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. 564 с.

References

1. Ventzel E.S. Operations Research. — M.: Soviet radio, 1972. 550 p.
2. Bobrikov A.A. Evaluation of the effectiveness of fire damage by missile strikes and artillery fire. — SPb.: «Galea Print», 2006. 424 p.
3. Dmitriev P.S. Theory of shooting at moving targets. — M.: 1950. 127 p.
4. Fendrikov N.M., Yakovlev V.I. Methods of calculating the combat effectiveness of weapons. — M.: Military Department of the Ministry of the Armed Forces of the USSR, 1971. 224 p.
5. Parshin J.P. Theory of combat effectiveness of weapons. — M.: 1994. 314 p.
6. Musin A.G. Evaluation of the effectiveness of strikes and fire of rocket troops and artillery. — SPb.: MMAA, 2011. 127 p.
7. Barkovskiy A.F. Fundamentals of evaluating the effectiveness and making recommendations for hitting targets with artillery fire. — SPb.: HAS, 306 p.
8. Ventzel E.S. Probability theory. — M.: State Publishing House of Physical and Mathematical Literature, 1962. 564 p.