

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ВСТРЕЧНОГО БОЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

Шумов В. В.¹

(Международный научно-исследовательский институт
проблем управления, Москва)

Встречный бой является разновидностью наступательного боя, в котором обе стороны стремятся выполнить поставленные задачи наступлением с целью разгрома противника в короткие сроки. Он возникает при встрече с противником в ходе марша; в обороне – при проведении контратак, что объясняет актуальность его исследования и моделирования. В работе рассмотрена простейшая имитационная модель встречного общевойскового боя двух подразделений, учитывающая следующие факторы, влияющие на ход и исход боя: моральный фактор (доли потерь, выдерживаемые подразделениями), фактор управления (решительность сторон, согласованность действий, кооперативное поведение), технологические факторы (мобильность, разведка, огневое поражение). При некооперативном поведении каждая боевая единица принимает решение на перемещение исходя из оценки наблюдаемых единиц противника, при кооперативном – дополнительно учитывается положение единиц своей стороны. Выполнено сравнение результатов расчетов с помощью модели и функции победы в бою. Функция победы в бою или функция конфликта на тактическом уровне основана на распределении Парето и является расширением функции конфликта Г. Таллока. Результаты расчетов не противоречат положениям и принципам военной науки. Модель может применяться, в частности, для оценки перспективных образцов вооружения и экипировки.

Ключевые слова: встречный бой, имитационная модель, функция победы, оценка параметров.

1. Введение

Модели боевых и военных действий можно классифицировать по следующим основаниям [6, 11, 12].

1. По масштабу:

- модели военных действий (стратегические операции, военные кампании);
- модели боевых действий (бой, сражение, операция).

¹ Владислав Вячеславович Шумов, д.т.н., доцент (v.v.shumov@yandex.ru).

2. По фазам управления боевыми (военными) действиями:
 - модели подготовки боевых (военных) действий;
 - модели ведения боевых (военных) действий.
3. По видам боевых (военных) действий:
 - наступление;
 - оборона;
 - встречный бой.
4. По физической среде:
 - модели боевых (военных) действий на суше;
 - модели боевых (военных) действий в морской среде (надводной и подводной);
 - модели боевых (военных) действий в воздушном (космическом) пространстве;
 - модели боевых (военных) действий в киберпространстве.
5. По методам моделирования:
 - описательные, оптимизационные модели и модели принятия решений;
 - имитационные модели (марковские цепи и конечные автоматы, дифференциальные уравнения, военные игры и учения, искусственный интеллект и коллективное поведение).

Обзоры, описания методов и результатов моделирования боевых и военных действий можно найти, в частности, в работах [1, 2, 3, 5, 7, 11].

Встречный бой является разновидностью наступательного боя, в котором обе стороны стремятся выполнить поставленные задачи наступлением с целью разгрома противника в короткие сроки, захвата инициативы и создания условий для дальнейших действий. Встречный бой возникает при встрече с противником в ходе марша; в обороне – при проведении контратак и нанесении контрударов и т.д. [4].

Далее рассмотрим модель общевойскового встречного боя, который ведется на тактическом уровне силами подразделений.

2. Имитационная модель встречного боя

Имеется поле боя прямоугольной формы (рис. 1). Боевым единицам сторон его покидать запрещено.

Стороны имеют K типов боевых единиц. Для каждого типа заданы: численность N_k^k (N_k^c) экипажа единицы типа k красных (синих), и ее ценность V_k^k (V_k^c), $k = 1, \dots, K$.

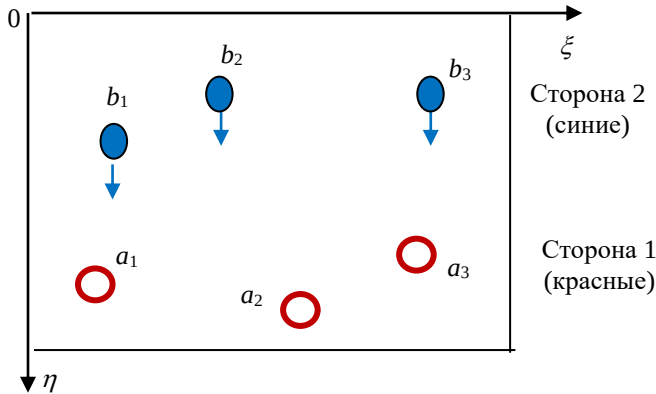


Рис. 1. Поле боя и боевые единицы сторон

Боевые единицы сторон имеют следующие характеристики:

- $x_k(0)$ ($y_k(0)$) – количество единиц типа k первой (второй) стороны в начальный момент боя;
- v_k (w_k) – скорость боевого перемещения единицы типа k первой (второй) стороны, км/час.;
- A (B) – матрица дальностей обнаружения противника боевыми единицами первой (второй) стороны, км;
- C (D) – матрица дальностей эффективного поражения противника боевыми единицами первой (второй) стороны, км;
- P (Q) – матрица вероятностей поражения противника боевыми единицами первой (второй) стороны.

Матрицы дальностей и вероятностей квадратные, размера K , например, $C = (c_{ij})$, где c_{ij} – дальность поражения единицы противника j -го типа единицей первой стороны типа i .

Обычно единицы первого типа ($k = 1$) полагаются самыми массовыми и малоэффективными, например, пехотинец с автоматической винтовкой.

Время дискретно и меняется с шагом Δt (например, 1 минута или 10 минут), $t_{i+1} = t_i + \Delta t$, $t_0 = 0$.

Дополнительно сторонами могут использоваться разведчики (беспилотные авиационные системы), эффективность которых задана долями π_x и π_y обнаруживаемых единиц противника на каждом шаге боя. Доли со временем не меняются.

Пусть заданы на поле боя начальные положения единиц первой и второй стороны: $(\xi_j^A(0), \eta_j^A(0)), j = 1, \dots, J^A$ и $(\xi_j^B(0), \eta_j^B(0)), j = 1, \dots, J^B$, причем

$$(1) \quad \sum_{k=1}^K x_k(0) = J^A, \quad \sum_{k=1}^K y_k(0) = J^B,$$

т.е. каждая из единиц относится к одному из типов. Положения единиц в момент времени t обозначим через $(\xi_j^A(t), \eta_j^A(t)), (\xi_j^B(t), \eta_j^B(t))$. Здесь J^A и J^B – начальные численности единиц сторон.

Расстояние между единицей i первой стороны и единицей j второй обозначим через

$$(2) \quad l_{ij}(t) = \sqrt{(\xi_i^A(t) - \xi_j^B(t))^2 + (\eta_i^A(t) - \eta_j^B(t))^2}.$$

Каждый шаг боя включает перемещение непораженных боевых единиц и стрельбу по противнику. На начальном шаге выбор движущейся и стреляющей стороны происходит в случайном порядке (с вероятностью 0,5). Далее стороны перемещаются и стреляют поочередно.

Информация об обнаруженных разведчиками или боевыми единицами целях противника действительна на каждом шаге и доступна всем единицам рассматриваемой стороны. Затем она забывается (теряет актуальность в связи с возможным перемещением единиц противника) и на следующих шагах обновляется. Положение боевых единиц и их состояние известно всем единицам рассматриваемой стороны.

2.1. ПРАВИЛА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БОЕВЫХ ЕДИНИЦ

Перемещение начинается с первой по порядку единицы. В дальность перемещения вводится элемент случайности. Пусть $\Delta l = v \Delta t$ – проходимое расстояние с учетом заданной скорости. Тогда дальность перемещения оценивается так: $\Delta s = \Delta l / 2 + \text{Rnd} \cdot \Delta l / 2$, где Rnd – равномерно распределенное на отрезке $[0, 1]$ случайное число.

Возможные направления перемещения: 0^0 , 45^0 , 90^0 , 135^0 , 180^0 , 225^0 , 270^0 , 315^0 (по часовой стрелке, от направления оси OY). Единица может остаться на месте, переместиться на расстояние Δs или $\Delta s / 2$. Таким образом, имеется $I \leq 17$ возможных точек, куда может переместиться единица (или остаться на месте). Исключаются точки, выходящие за границы поля боя (рис. 2).

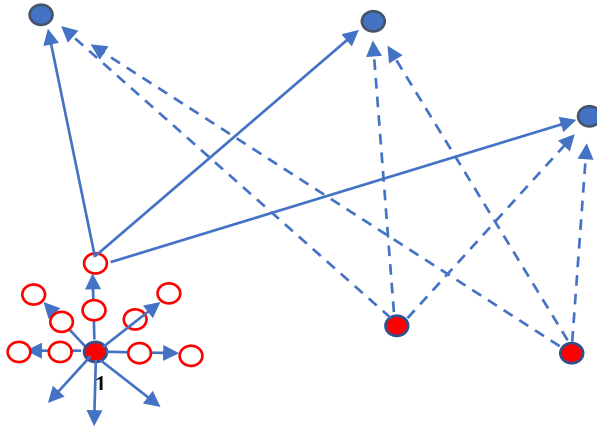


Рис. 2. Перемещение боевой единицы

Рассмотрим экспоненциальный закон поражения целей. Пусть p_0 есть вероятность поражения цели на дальности d_0 . Тогда зависимость вероятности поражения цели от дальности до нее имеет вид:

$$(3) \quad p(d) = \exp(-\lambda d); \quad \lambda = -\frac{\ln p_0}{d_0}.$$

При выборе целевой точки перемещения s -я единица типа k руководствуется следующим критерием (*некооперативное поведение*)

$$(4) \quad W_s^n = \alpha \sum_{j \in J} V_j p_{ij}^s(l_{ij}) - (1 - \alpha) V_k \sum_{j \in J} p_{ji}^s(l_{ij}) \rightarrow \max_i,$$

где: $0 < \alpha < 1$ – параметр решительности боя рассматриваемой стороны; J – множество наблюдаемых целей противника; l_{ij} – расстояние между точкой i возможного расположения s -й еди-

ницы и j -й целью противника; V_j – ценность j -й цели противника; V_k – ценность рассматриваемой единицы; p_{ij}^s – вероятность поражения s -й единицей j -й цели противника; p_{ji}^s – вероятность поражения единицы s -й единицы j -й целью противника.

Содержательно первое слагаемое есть сумма вероятностей поражения s -й единицей наблюдаемых единиц противника с учетом их ценностей, второе слагаемое – сумма вероятностей поражения s -й единицы наблюдаемыми единицами противника с учетом ценности s -й единицы.

Критерий кооперативного поведения:

$$(5) \quad W_s^k = \alpha \sum_{j \in J} V_j \left[p_{ij}^s(l_{ij}) + \sum_{k \neq s} p_{i^*j}^k(l_{i^*j}) \right] - \\ - (1 - \alpha) V_k \sum_{j \in J} \left[p_{ji}^s(l_{ij}) + \sum_{k \neq s} p_{ji^*}^k(l_{i^*j}) \right] \rightarrow \max_i,$$

где: l_{i^*j} – расстояние между точкой i^* расположения k -й единицы и j -й целью противника; $p_{i^*j}^k$ – вероятность поражения k -й единицей j -й цели противника; $p_{ji^*}^k$ – вероятность поражения единицы k -й единицы j -й целью противника.

После перемещения боевой единицы ее новое положение становится известно всем единицам рассматриваемой стороны. Далее перемещается следующая единица и т.д.

После перемещения всех единиц одной из сторон начинают перемещение единицы другой стороны.

2.2. ПРАВИЛА ВЫБОРА ЦЕЛЕЙ ДЛЯ СТРЕЛЬБЫ И ИХ ПОРАЖЕНИЯ

Порядок стрельбы любой из сторон следующий. Стрельбу начинает первая по порядку боевая единица. Стрельба ведется по обнаруженной цели в пределах дальности действия оружия. Если таких целей несколько, выбирается цель, вероятность поражения которой максимальна. Среди целей с максимальной вероятностью поражения выбирается ближайшая.

По заданной вероятности поражения с помощью датчика случайных чисел принимается решение о поражении цели. Факт поражения единицы становится известным обоим сторонам. В

случае поражения цели стрельба по ней немедленно прекращается. Далее стреляет следующая боевая единица и т.д.

Другая сторона стрельбу ведет в таком же порядке.

2.3. ЗАВЕРШЕНИЕ БОЯ

Бой прекращается, если для одной из сторон выполняется условие:

$$(6) \quad \frac{\sum_k N_k z_k(t)}{\sum_k N_k z_k(0)} > \varepsilon,$$

где: $z_k(0)$ и $z_k(t)$ численности боевых единиц k -го типа в начальный момент боя и на шаге t ; ε – доля потерь, выдерживаемая стороной.

Содержательно данное условие означает, что сторона прекращает боевые действия, как только ее потери превысят допустимый порог.

Если на некотором шаге условие (6) выполнено для обеих сторон, то признается ничья. Иначе победа присуждается той стороне, потери которой стали чрезмерными. Если условие (6) не выполнено для обеих сторон, то бой продолжается.

Возможна ситуация, когда по каким-либо причинам есть ограничение на продолжительность боя у одной из сторон. Тогда бой может прекратиться и ранее (до достижения условия (6)) при достижении определенного времени боя T_0 или заданного количества шагов.

3. Компьютерная реализация модели

3.1. ИНТЕРФЕЙС КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ

На рис. 3 показан интерфейс программы, реализованной в среде Delphi 11.

Размещение боевых единиц сторон на поле боя считывается из Excel-файла. Каждая из сторон может иметь единицы трех типов: единицы первого типа показаны сплошными прямоугольниками минимального размера, второго типа – прямоугольниками большего размера, третьего типа – эллипсами.

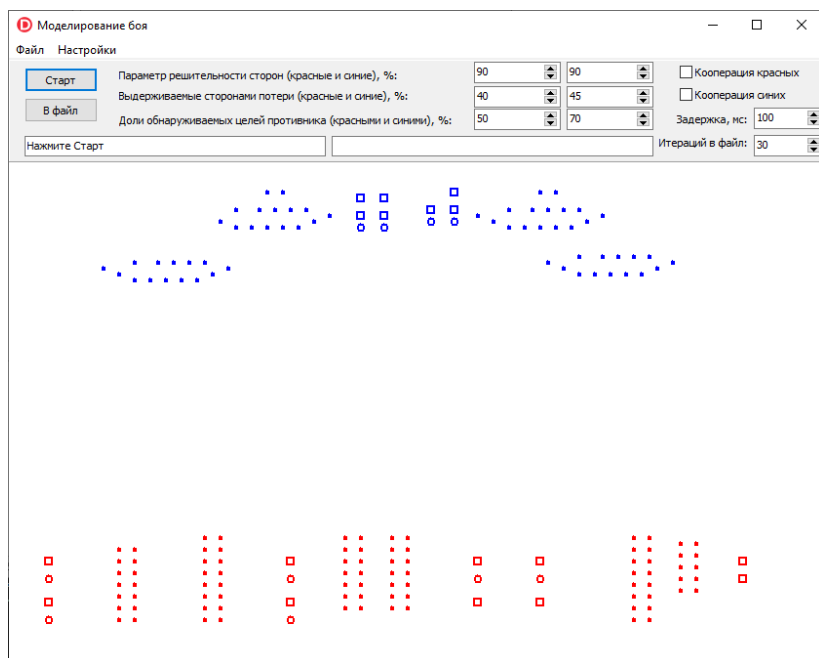


Рис. 3. Начальное расположение единиц на поле боя

Для тестирования и исследования программы использовались следующие тактико-технические характеристики.

Численности экипажей боевых единиц (типы 1–3, одинаковы для обеих сторон): 1, 3, 2.

Ценности боевых единиц (типы 1–3, одинаковы для обеих сторон): 1, 3, 2.

Скорости боевого перемещения (типы 1–3, одинаковы для обеих сторон): 5, 15, 10.

Дальности обнаружения и поражения противника, вероятности поражения одинаковы для каждой стороны и представлены в таблице 1.

На рис. 4 показан пример завершения боя, где пораженные единицы обведены окружностью, прямые линии – направления стрельбы боевых единиц.

Таблица 1. Характеристики боевых единиц

Показатель	Тип единицы	Значения показателей по типам единиц противника		
		1	2	3
Дальность обнаружения, км	1	0,5	2	1
	2	0,5	2	1
	3	0,5	3	1,5
Дальность поражения, км	1	0,5	0,1	0,1
	2	1	3	4
	3	0,5	5	4
Вероятность поражения	1	0,2	0,2	0,2
	2	0,5	0,5	0,5
	3	0,5	0,8	0,8

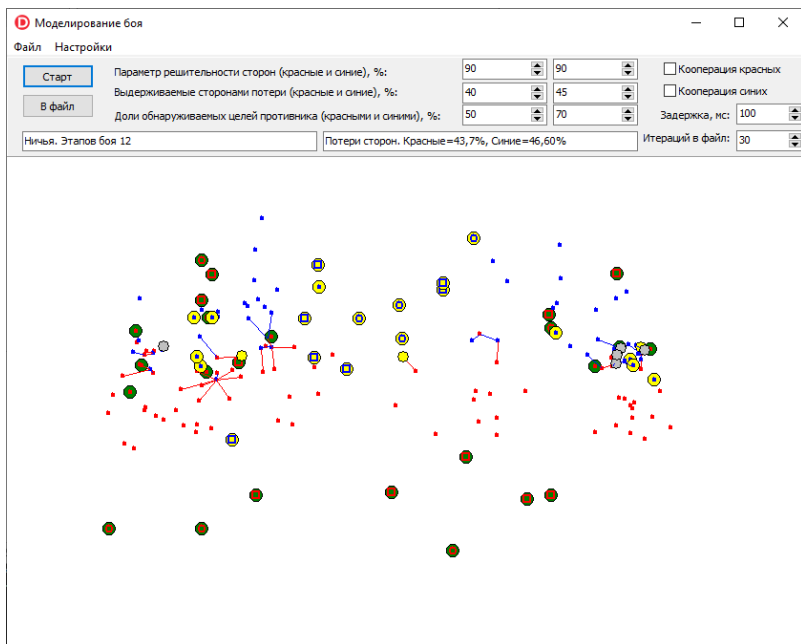


Рис. 4. Завершение боя

Далее рассмотрим некоторые результаты вычислительного эксперимента.

3.2. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ И ЕГО РЕЗУЛЬТАТЫ

Вычислительный эксперимент состоит из серий, в каждой из которых реализовано 30 боевых столкновений и вычислены средние характеристики (табл. 2).

Таблица 2. Результаты вычислительного эксперимента

K1	K2	P1	P2	Этапов	Los1	Los2	Исход
Нет	Нет	20	20	15,20	28,08	46,38	0,97
			50	13,33	32,52	47,14	0,95
			80	12,43	32,12	47,18	0,90
		50	20	12,50	29,08	46,80	0,95
			50	11,90	34,28	48,04	0,92
			80	10,63	32,71	47,25	0,87
		80	20	12,00	30,11	47,47	1,00
			50	10,97	34,00	47,07	0,90
			80	10,30	32,52	47,54	0,90
	Да	20	20	16,03	31,85	46,38	0,97
			50	13,83	34,01	46,87	0,93
			80	12,47	33,29	46,30	0,82
		50	20	13,50	32,62	47,04	0,93
			50	11,40	33,28	46,15	0,82
			80	10,93	32,46	47,66	0,97
		80	20	12,80	32,67	47,52	0,97
			50	11,07	34,18	46,99	0,90
			80	10,50	33,15	47,92	0,92
Нет	Да	20	20	15,50	30,34	46,99	0,97
			50	13,03	30,49	46,64	0,90
			80	12,27	31,96	46,15	0,90
		50	20	13,20	31,09	47,25	0,98
			50	11,27	31,76	47,33	0,98
			80	10,80	31,67	47,20	0,98
		80	20	11,30	28,76	46,73	1,00
			50	10,53	31,63	47,03	0,95
			80	10,53	33,57	47,74	0,85
Да		20	20	15,57	30,14	46,83	0,97

K1	K2	P1	P2	Этапов	Los1	Los2	Исход
			50	13,03	31,75	47,33	0,98
			80	12,33	32,87	46,53	0,90
		50	20	12,97	30,13	47,22	0,97
			50	11,50	31,53	48,16	1,00
			80	11,03	33,37	47,55	0,90
		80	20	12,30	31,04	46,08	0,90
			50	10,77	31,49	48,03	0,93
			80	10,33	32,89	47,17	0,93

K1 (K2) – кооперативное поведение единиц первой (второй) стороны.

P1 (P2) – параметр решительности единиц первой (второй) стороны.

Los1 (Los2) – % потерь личного состава первой (второй) стороны.

Исход – доля боев, в которых победила первая сторона.

Решительность сторон характеризуется параметром решительности (см. выражения (4) и (5)).

На рис. 5 показаны значения исходов боев (а на рис. 6 – среднее количество этапов боя) в зависимости от значений параметра решительности сторон. По горизонтальной оси показаны значения параметра решительности первой стороны, легенда – решительность второй стороны.

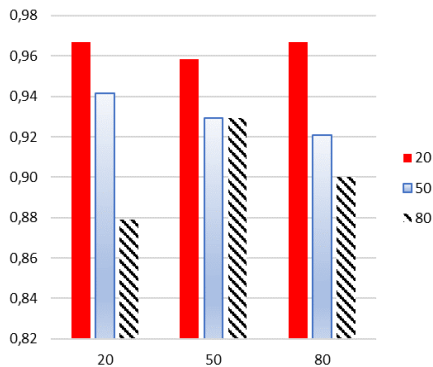


Рис. 5. Зависимость исходов боя от решительностей сторон

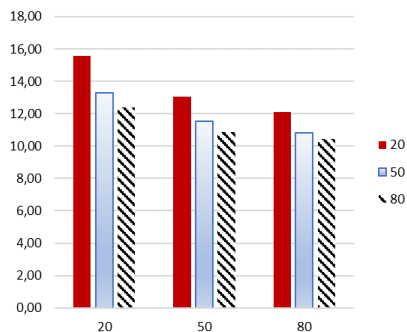


Рис. 6. Зависимость количества этапов боя от решительностей сторон

Для рассматриваемых характеристик боя изменение параметра решительности 1-й стороны почти не влияет на исход боя, но сокращает его продолжительность (количество этапов боя до победы одной из сторон).

На рис. 7 показаны значения исходов боев (а) и их продолжительностей (б) от наличия или отсутствия кооперативного поведения сторон.

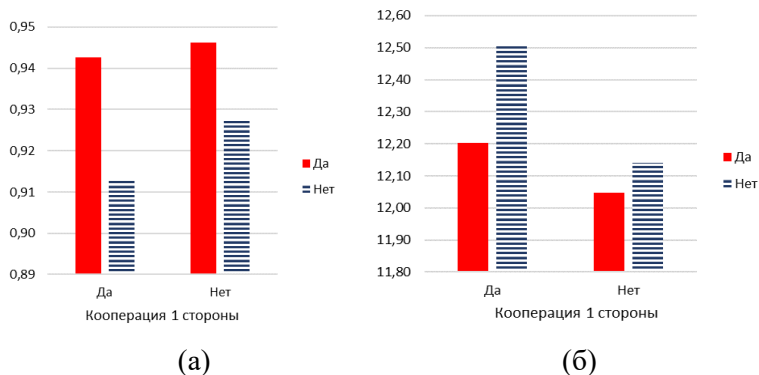


Рис. 7. Зависимость исходов и продолжительности боя от кооперативного поведения сторон

Кооперативное поведение единиц 1-й стороны приводит к сокращению продолжительности боя, а кооперативное поведение второй стороны – к повышению ее боевой эффективности и увеличению продолжительности боя (что выгодно, так как она является слабой по численности стороной).

Различное влияние параметра решительности и кооперативного поведения сторон на исход боя можно объяснить разными возможностями сторон по ведению разведки. В рассматриваемом вычислительном эксперименте на каждом этапе боя разведчики 1-й стороны обнаруживали 50% целей противника, тогда как разведчики 2-й стороны – 70%.

4. Функция победы в бою и имитационная модель боя

4.1. ФУНКЦИЯ ПОБЕДЫ В БОЮ

Положим, что в бою участвуют две стороны. Их усилия (ресурсы) обозначим через $x > 0$ и $y > 0$, соответственно. Любой комбинации усилий сторон поставлены в соответствие вероятности победы первой и второй стороны – $p_x(x, y)$ и $p_y(x, y)$.

В работах [10, 11] в качестве функции победы предложено использовать расширение функции конфликта Г. Таллока – вероятность победы $p_x(x, y)$ первой стороны равна:

$$(7) \quad p_x(x, y) = \frac{(\beta x)^m}{(\beta x)^m + (y)^m} = \frac{q^m}{q^m + 1},$$

$$q = \frac{\beta x}{y}, \quad \beta = \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \omega, \quad \omega = \sqrt[4]{\omega_1 \omega_2 \omega_3 \omega_4},$$

где: β – параметр боевого (морального и технологического) превосходства первой стороны над второй; q – соотношение сил сторон; m – параметр формы; $0 < \lambda_x < 1$ ($0 < \lambda_y < 1$) – доля «кровавых» потерь (убитыми и ранеными), выдерживаемая первой (второй) стороной; ω – параметр технологического (организационно-технического) превосходства первой стороны над второй. Компоненты параметра ω вытекают из определения боя (бой представляет собой совокупность согласованных по цели, месту и времени ударов, огня и маневра войск для уничтожения

(разгрома) противника, отражения его ударов и выполнения других задач); ω_1 (ω_2 , ω_3 , ω_4) – превосходство первой стороны над второй в боевом опыте командиров и их подчиненных (соответственно, в разведке, маневренности и огневых возможностях). Опыт командиров и слаженностью подразделений обеспечивается согласованность действий. Частные коэффициенты $\omega_1, \dots, \omega_4$ вычисляются как отношения количественных характеристик боевых единиц сторон с учетом противодействия противника. Например, дальности эффективного поражения противника следует вычислять с учетом имеющихся у него средств индивидуальной и коллективной защиты; дальности обнаружения – с учетом возможностей по маскировке (задымлению) и т.д. Параметр морального превосходства λ_x / λ_y имеет решающее значение на исход боя. По М. Осипову, «победа зависит не от продолжительности боя, а главным образом от понесенных сторонами потерь; поэтому вернее будет считать, что бой длится до тех пор, пока потери одной из сторон не достигнут некоторого определенного %. Таким % в среднем можно считать 20%...» [8].

Действия небольших тактических подразделений (рот, батальонов, полков, тактических групп) в наступлении и обороне могут быть описаны моделью отношения сил со значением параметра формы $m = 1$. В этом случае вероятность победы 0,75 достигается при трехкратном превосходстве в силах и средствах над противником, что соответствует сложившимся представлениям о ведении общевойскового боя. На участках прорыва рекомендуется обеспечить десятикратное превосходство над противником. При этом вероятность успеха будет не ниже 0,9.

Если сделать замену переменной, то получим распределение Парето:

$$(8) \quad p_x(z) = \frac{q^m}{q^m + 1} = \frac{z^m - 1}{z^m} = 1 - z^{-m}, \quad z^m = q^m + 1, \quad z \geq 1,$$

обладающее свойством самоподобия (распределение значений, превышающих величину $z_0 \geq 1$, также является распределением Парето). Содержательно это означает, что боевые действия батальона, полка могут быть описаны тем же распределением, что и боевые действия дивизии, в составе которой они действуют.

Математическому свойству самоподобия соответствует важнейший принцип военного искусства, требующий учета одних и тех же факторов, определяющих успех любого боя, сражения и операции [9].

Отметим, что распределение Парето при $m = 1$ не имеет математического ожидания и дисперсии, следовательно, увеличение количества опытов (серий вычислительного эксперимента) может не приводить к улучшению точности оценки параметров модели.

4.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИИ ПОБЕДЫ

Выполним второй вычислительный эксперимент, в котором с каждой стороны в бою участвуют по 80 боевых единиц первого типа (единицы 2-го и 3-го типов отсутствуют).

При значениях параметров решительности сторон 0,5, выдерживаемых сторонами потерях 0,2 на рис. 8 показан график зависимостей вероятности победы первой стороны от скорости перемещения ее боевых единиц (при различных значениях долей обнаруживаемых разведчиками целей противника и при скорости перемещения единиц второй стороны 5 км/ч).

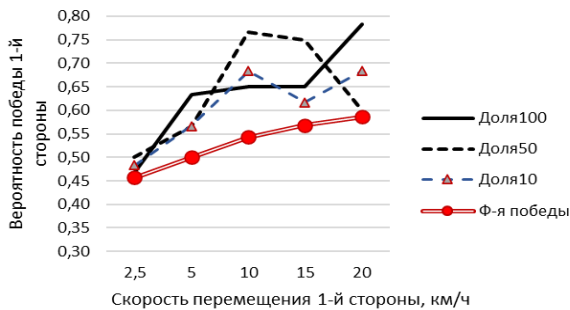


Рис. 8. Зависимость исходов боя от скорости перемещения единиц первой стороны

Из рисунка видно, что графики вероятностей победы зависят не только от отношения скоростей сторон, но и от условий ситуационной осведомленности («Доля100» – разведчиками

сторон на каждом шаге боя обнаруживаются 100% единиц противника, «Доля50» – 50% единиц, «Доля10» – 10% единиц).

Для каждого значения скорости и доли обнаружений выполнены серии по 30 испытаний (боев), при этом повторение новых серий показывает, что результаты вычислений меняются в интервале $\pm 0,1$. Можно предположить, что вероятность победы первой стороны при одинаковых возможностях сторон зависит от начального положения единиц на поле боя.

Значения функции победы вычислены по формуле (7).

На рис. 9 показан график зависимостей вероятности победы 1-й стороны от ситуационной осведомленности сторон (доли обнаруживаемых разведчиками целей) при значениях параметров решительности сторон 0,5, выдерживаемых сторонами потерях 0,2 и при дальностях обнаружения противника боевыми единицами 0,5 км («ДОбн0,5км») и 2,5 км («ДОбн2,5км»).

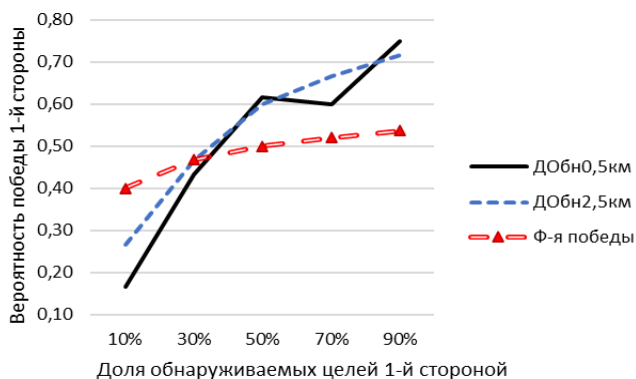


Рис. 9. Зависимость исходов боя от ситуационной осведомленности 1-й стороны (осведомленность 2-й стороны равна 50%)

При значениях ситуационной осведомленности сторон 30% на рис. 10 показан график зависимости исхода боя от дальности обнаружения противника единицами 1-й стороны (дальность обнаружения целей единицами 2-й стороны равна 0,5 км).

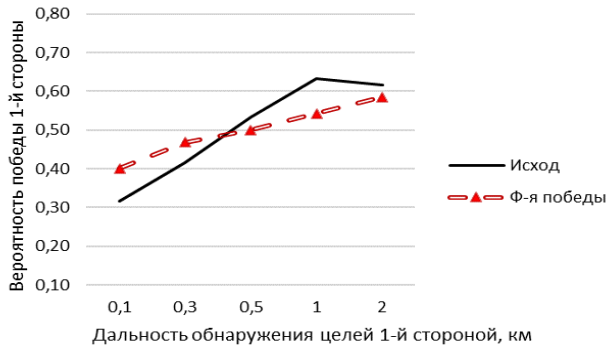


Рис. 10. Зависимость исходов боя от дальности обнаружения целей единицами 1-й стороны

На рис. 11 показан график зависимости исхода боя от вероятности поражения противника единицами 1-й стороны (вероятность поражения целей единицами 2-й стороны равна 0,2) при значениях ситуационной осведомленности сторон 30%.



Рис. 11. Зависимость исходов боя от вероятности поражения целей единицами 1-й стороны

Столь существенное расхождение между значениями функции победы и результатами имитационного моделирования можно объяснить следующими особенностями: во-первых, имитационная модель дискретна и стреляют все единицы одной

стороны, затем другой; во-вторых, в модели принято допущение, что вероятность поражения фиксирована до определенной дальности до цели, затем обнуляется; в-третьих, не учитываются особенности рельефа местности и другие факторы, влияющие на эффективность применения оружия на каждом шаге боя, в-четвертых, факторы, влияющие на результат боя, могут меняться по ходу боя, а в модели они постоянны.

На рис. 12 показан график зависимости исхода боя от численности боевых единиц 1-й стороны (количество единиц 2-й стороны равно 80).

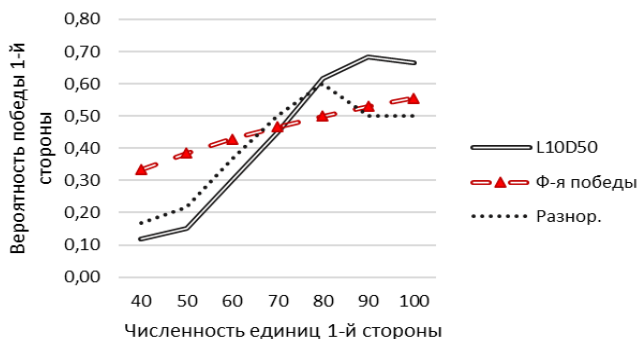


Рис. 12. Зависимость исходов боя от численности единиц 1-й стороны

График «L10D50» получен при следующих исходных данных: боевые единицы только первого типа, выдерживаемые сторонами потери – 10%, доли обнаруживаемых разведчиками целей – 50%.

График «Разнор.» получен для разнородных боевых единиц (1-3 типов), при выдерживаемых потерях 10% и долях обнаруженных разведчиками целей 50%.

В исходном положении стороны построены в походные порядки, напротив друг друга, боевые характеристики единиц сторон одинаковы, параметры решительности сторон равны 50%, выдерживаемые потери – 20%, ситуационная осведомленность сторон – 30%.

В таблице 3 показаны характеристики серий боев (в каждой серии реализовано 30 боевых столкновений и вычислены средние характеристики).

Таблица 3. Результаты серий боев в одинаковых условиях

Серия	Этапов боя	Потери 1-й стороны	Потери 2-й стороны	Вероятность победы 1-й стороны
1	4,03	19,43	20,78	0,58
2	3,97	21,04	19,59	0,42
3	4,10	20,05	20,68	0,57
4	3,97	20,14	20,49	0,47
5	3,90	19,95	20,19	0,55
6	4,07	20,84	20,84	0,50
7	4,03	20,81	20,61	0,38

Если средняя продолжительность боя (количество этапов до его завершения) от серии к серии меняется незначительно, то вероятность победы меняется в широком интервале (от 0,38 до 0,58), что свидетельствует в пользу того, исход боя подчиняется распределению Парето с параметром, близким к единице.

5. Заключение

Представим в сводном виде параметры функции победы в бою (тактический уровень, $m = 1$) и соответствующие им показатели имитационной модели боя:

Функция победы	Имитационная модель
Численности боевых единиц x, y	Численности боевых единиц сторон по типам
Доли потерь, выдерживаемые сторонами λ_x и λ_y	Проценты потерь, выдерживаемые сторонами
Параметр превосходства в боевом опыте командиров и слаженности подразделений ω_1	Параметры решительности сторон, возможность кооперации, особенности алгоритма (немедленная передача информации о противнике и потерям всем

Функция победы	Имитационная модель
	другим единицам)
Параметр превосходства в разведке ω_2	Доли обнаруживаемых целей противника разведчиками (беспилотными авиационными системами и др.), дальности обнаружения противника боевыми единицами (с учетом типов единиц)
Параметр превосходства в маневренности ω_3	Скорости перемещения боевых единиц (с учетом их типов)
Параметр превосходства в огневых возможностях ω_4	Дальности и вероятности поражения противника боевыми единицами (с учетом их типов)

Несмотря на простоту имитационной модели, она учитывает основные факторы, влияющие на ход и исход боя, а результаты моделирования не противоречат положениям и принципам военной науки. Модель может применяться, в частности, для оценки перспективных образцов вооружения и экипировки.

Перспективными направлениями развития имитационной модели являются следующие:

- учет особенностей рельефа, инженерного оборудования позиций и др. факторов;
- введение интерактивности в действия сторон;
- учет рефлексии сторон (в дополнение к кооперативному поведению).

Литература

1. БОЙКО А.А., ИВАННИКОВ К.С., КУЗНЕЦОВ Д.А. *Методика построения графоаналитической модели позиционной динамики боя на основе вероятностно-временной синхронизации действий элементов боевых порядков воинских формирований* // Системы управления, связи и безопасности. – 2020. – №2. – С. 24–48.

2. ВАСИН А.А., КРАСНОЩЕКОВ П.С., МОРОЗОВ В.В. *Исследование операций* : учебное пособие. – М. : Академия, 2008. – 464 с.
3. ВАСИН А.А., МОРОЗОВ В.В. *Теория игр и модели математической экономики* : учебное пособие. – М. : Макс-Пресс, 2005. – 272 с.
4. *Встречный бой*. – URL: <https://encyclopedia.mil.ru/encyclopedia/dictionary/details.htm?id=4686@morfDictionary> (дата обращения: 23.11.2021).
5. КОРЕПАНОВ В.О., НОВИКОВ Д.А. *Задача о диффузной бомбе* // Проблемы управления. – 2011. – №5. – С. 66–73.
6. НОВИКОВ Д.А. *Иерархические модели военных действий* // Управление большими системами. – 2012. – Вып.37. – С. 25–62.
7. НОВИКОВ Д.А., ЧХАРТИШВИЛИ А.Г. *Рефлексия и управление: математические модели*. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2012. – 412 с.
8. ОСИПОВ М.П. *Влияние численности сражающихся сторон на их потери* // Военный сборник. – 1915. – №6. – С. 59–74; №7. – С. 25–36; №8. – С. 31–40; №9. – С. 25–37.
9. *Речь Г. К. Жукова на военно-научной конференции, декабрь 1945 г.* // Военная мысль. – 1985. Специальный выпуск (февраль). – С. 3, 17–33.
10. ШУМОВ В.В. *Исследование функции победы в бою (сражении, операции)* // Проблемы управления / Control Sciences. – 2020. – № 6. – С. 19–30.
11. ШУМОВ В.В., КОРЕПАНОВ В.О. *Математические модели боевых и военных действий* // Компьютерные исследования и моделирование. – 2020. – Т. 12. – №1. – С. 217–242.
12. BONDER S. *Army operations research – historical perspectives and lessons learned* // Operation Research. – 2002. – Vol. 50. – No 1. – P. 25–34.

STUDY OF SIMULATION COUNTER FIGHT MODELS UNITS

Vladislav Shumov, International Research Institute for Advanced Systems, Moscow, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor (v.v.shumov@yandex.ru).

Abstract: An oncoming engagement is a type of offensive engagement in which both sides strive to accomplish assigned tasks by attacking in order to defeat the enemy in a short time. It appears when meeting an enemy during a march; in defense - when conducting counterattacks, which explains the relevance of its research and modeling. The paper considers the simplest simulation model of the oncoming combined arms battle of two subunits, which takes into account the following factors affecting the course and outcome of the battle: moral factor (share of losses sustained by subunits), control factor (decisiveness of the parties, coordination of actions, cooperative behavior), technological factors (mobility, reconnaissance, fire damage). In case of non-cooperative behavior, each combat unit makes a decision to move based on the assessment of the observed enemy units, in case of cooperative behavior, the position of the units of its side is additionally taken into account. Comparison of the calculation results using the model and the battle victory function has been performed. The function of victory in battle or the function of conflict at the tactical level is based on the Pareto distribution and is an extension of the conflict function of G. Tullock. The calculation results do not contradict the provisions and principles of military science. The model can be used, in particular, to assess promising weapons and equipment.

Keywords: counter battle, simulation model, victory function, parameter estimation.

УДК 519.8

ББК 22.18

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...*

*Поступила в редакцию ...заполняется редактором...
Опубликована ...заполняется редактором...*