

Брезгин В.С.

Кандидат технических наук

Буравлев А.И.

Доктор технических наук, профессор

Уравнения динамики боевых потенциалов противоборствующих группировок

На базе уравнений «динамики средних» построена система уравнений, описывающая динамику боевых потенциалов противоборствующих группировок. В качестве боевого потенциала рассматривается среднее число пораженных объектов противника огневymi средствами группировки. Получено аналитическое решение, позволяющее осуществлять оперативную оценку и прогнозирование динамики боевых потенциалов группировок. Для неоднородных группировок предложена методика соизмеримости разнородных огневых средств с использованием экспертных оценок. Рассмотрены примеры, иллюстрирующие работоспособность предложенной модели.

В настоящее время отсутствует научно-методический аппарат, позволяющий оперативно и достаточно адекватно производить оценку и осуществлять прогноз боевых возможностей воинских формирований (ВФ) различного уровня в ходе операции (боевых действий) [1,2]. Об этом свидетельствует дискуссия, развернувшаяся на страницах журнала «Военная мысль» [3, 4, 5]. Такой аппарат можно построить на базе аналитической модели «динамики средних» [6].

Рассмотрим систему дифференциальных уравнений Осипова-Ланчестера, описывающих динамику изменения средних численностей однородных группировок для случая, когда огневое воздействие осуществляется равновероятно по непораженным объектам противника и отсутствует восполнение численности группировок

$$\begin{aligned} \frac{dm_1}{dt} &= -\lambda_2 m_2; \quad m_1(0) = N_1; \\ \frac{dm_2}{dt} &= -\lambda_1 m_1; \quad m_2(0) = N_2, \end{aligned} \quad (1)$$

где λ_1, λ_2 - интенсивности поражающего действия боевых единиц сторон; N_1, N_2 - начальные численности противоборствующих группировок.

Интенсивности поражающего действия λ представляют собой среднее число объектов противника, поражаемых в единицу времени одной боевой единицей. В работах [5, 7] показано, что боевой потенциал воинского формирования характеризует объем задач, которое может выполнить ВФ по целевому предназначению в расчетных

условиях при нормативных уровнях возможностей систем управления, тылового обеспечения и подготовки личного состава. Важнейшей составляющей боевого потенциала ВФ является боевой потенциал его ударных средств, в частности, средств огнестрельного поражения, который определяется численностью и потенциалом огневых средств. Количественной мерой потенциала огневых средств является средняя численность пораженных объектов противника за время цикла их функционирования [7]. Если обозначить P - потенциал огнестрельного средства, а t_u - среднее время цикла его боевого функционирования, то получаем следующую связь между потенциалом огнестрельного средства и интенсивностью его поражающего действия

$$P = \lambda t_u.$$

При известной численности m огневых средств суммарный боевой потенциал группировки P составит

$$P = pm = \lambda t_u m. \quad (2)$$

Реализуемый боевой потенциал или боевые возможности ВФ будут зависеть от реальных возможностях систем боевого управления, технического и тылового обеспечения, уровня подготовки личного состава. Этот уровень принято характеризовать коэффициентами K_{CV}, K_{TO}, K_{LC} , которые принимают значения от нуля до единицы

$$P^* = K_{CV} K_{TO} K_{LC} P. \quad (3)$$



При $K_{CV} = 1$; $K_{TO} = 1$; $K_{JC} = 1$ боевые возможности ВФ соответствуют его боевому потенциалу.

Полагая, что потенциалы огневых средств сторон не изменяются в ходе боевых действий ($\lambda = const$) и используя уравнения (1), получаем систему дифференциальных уравнений для боевых потенциалов группировок

$$\begin{cases} \frac{dP_1}{dt} = -\lambda_1 P_2, & P_1(0) = p_1 N_1 \\ \frac{dP_2}{dt} = -\lambda_2 P_1, & P_2(0) = p_2 N_2 \end{cases}; \quad (4)$$

Система уравнений (4) интегрируется в аналитическом виде, а ее решение имеет вид

$$\begin{cases} P_1(t) = A_1 \exp(\bar{\lambda}t) + A_2 \exp(-\bar{\lambda}t) \\ P_2(t) = B_1 \exp(\bar{\lambda}t) + B_2 \exp(-\bar{\lambda}t) \end{cases}; \quad (5)$$

$$\text{где } A_1 = \frac{P_1(0) - \sqrt{\frac{\lambda_1}{\lambda_2}} P_2(0)}{2};$$

$$A_2 = \frac{P_1(0) + \sqrt{\frac{\lambda_1}{\lambda_2}} P_2(0)}{2}; \quad \bar{\lambda} = \sqrt{\lambda_1 \lambda_2};$$

$$B_1 = \frac{P_2(0) - \sqrt{\frac{\lambda_2}{\lambda_1}} P_1(0)}{2}; \quad B_2 = \frac{P_2(0) + \sqrt{\frac{\lambda_2}{\lambda_1}} P_1(0)}{2}.$$

Рассмотрим теперь случай, когда в ходе боевых действий производится восстановление численности группировок. В этом случае уравнения динамики средних принимают вид⁶

$$\begin{cases} \frac{dm_1}{dt} = -\lambda_2 m_2 + \mu_1 (N_1 - m_1), & m_1(0) = N_1 \\ \frac{dm_2}{dt} = -\lambda_1 m_1 + \mu_2 (N_2 - m_2), & m_2(0) = N_2 \end{cases}; \quad (4)$$

где μ_1, μ_2 - интенсивности восполнения численности группировок.

Подстановкой (2) приводим их системе уравнений для боевых потенциалов:

$$\begin{cases} \frac{dP_1}{dt} = -\lambda_1 P_2 + \mu_1 [P_1(0) - P_1], & P_1(0) = p_1 N_1 \\ \frac{dP_2}{dt} = -\lambda_2 P_1 + \mu_2 [P_2(0) - P_2], & P_2(0) = p_2 N_2 \end{cases}; \quad (5)$$

Аналитическое решение системы (5) достаточно сложное, поэтому далее используется численный метод.

Соотношение боевых потенциалов противоборствующих сторон характеризует коэффициент боевых потенциалов (КБП)

$$K_p(t) = \frac{P_1(t)}{P_2(t)}. \quad (6)$$

По этому показателю оценивают ход и исход операции. Так, например, при $K_p > 1$ первая сторона имеет преимущество над противником; при $K_p > 2$ - первая сторона практически одерживает победу, а при $K_p > 3$ - достигает полной победы над противником.

В случае разнородных группировок необходимо осуществить количественное соизмерение разнородных компонент векторов численностей группировок $\mathbf{m}^{(1)} = (m_i^{(1)})_{k \times 1}$; $\mathbf{m}^{(2)} = (m_j^{(2)})_{n \times 1}$, где k, l - количество различных видов (типов) огневых средств в составе противоборствующих группировок.

Эту операцию можно осуществить с помощью экспертов путем установления коэффициентов соизмеримости $\alpha_{ij}^{(1)} > 0$, ($i, j = \overline{1, k}$); $\alpha_{rs}^{(2)} > 0$ ($r, s = \overline{1, l}$) между различными огневыми средствами противоборствующих сторон. Одной из эффективных процедур экспертного оценивания, является методика парных сравнений Т.Саати [8]. В результате применения данной процедуры можно получить нормированные коэффициенты приоритетности $\beta_i^{(1)} > 0$, $\sum_{i=1}^k \beta_i^{(1)} = 1$;

$\beta_j^{(2)} > 0$, $\sum_{j=1}^l \beta_j^{(2)} = 1$ для огневых средств противоборствующих сторон. С помощью этих коэффициентов нетрудно определить коэффициенты соизмеримости

$$\alpha_{is} = \frac{\beta_i}{\beta_{sj}} > 0, \quad (7)$$

($i = \overline{1, k}$) образцов ВВТ относительно выбранного «эталонного» образца и ввести числовую норму

$$\|m\|_s = \sum \alpha_{is} |m_i| \quad (8)$$

для векторов численностей разнородных группировок $\mathbf{m}^{(1)} = (m_i^{(1)})_{k \times 1}$, $\mathbf{m}^{(2)} = (m_j^{(2)})_{n \times 1}$.

Как следует из (8), норма вектора численности \mathbf{m} равна суммарной численности «эквивалентированных» огневых средств группировки. Эта величина характеризует *приведенную* численность разнородной группировки. Приведение разнородных группировок к эквивалентной однородной группировке должно осуществляться относительно единого эталонного огневого средства для противоборствующих сторон. Им может быть авиационный, ракетный, артиллерийский и любой другой комплекс огневого поражения.

Боевые потенциалы огневых средств противоборствующих сторон можно рассчитать по известным нарядам средств, гарантирующих поражение объектов противника по заданному типу. Значения этих нарядов приводятся в соответствующих руководствах по боевому применению авиации, ракетных войск и артиллерии. Обозначим ω_{ir} - потребный наряд огневых средств i -го типа для поражения r -го типа объекта противника. Тогда величина $p_{ir} = \frac{1}{\omega_{ir}}$ есть потенциал огневого средства i -го типа по поражению r -го типа объекта. Если γ_{ir} - вероятность (частота) применения данного огневого средства по заданному типу объекта противника ($\sum_{r=1}^l \gamma_{ir} = 1$), то потенциал огневого средства для всего множества объектов поражения составит

Таблица 1 - потребные наряды для поражения объектов противника ударным авиационным комплексом (АК) с заданным вариантом боевого снаряжения

№ объекта поражения	Частота применения	Потребный наряд
1	0,4	1
2	0,2	2
3	0,2	3
4	0,15	4
5	0,05	6

Требуется определить боевой потенциал АК в заданном варианте боевого снаряжения по поражению указанной совокупности объектов.

$$p_i = \sum_{r=1}^l \gamma_{ir} p_{ir} = \sum_{r=1}^l \frac{\gamma_{ir}}{\omega_{ir}}. \quad (9)$$

Боевой потенциал приведенной группировки в этом случае будет равен

$$P = \sum_{i=1}^k \alpha_{i3} p_i m_i, \quad (10)$$

а средний потенциал ее огневого средства составит

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^k \alpha_{i3} p_i m_i}{\sum_{i=1}^k \alpha_{i3} m_i}. \quad (11)$$

Интенсивность поражающего действия огневых средств для приведенной группировки будет равна отношению среднего потенциала к среднему времени цикла боевого функционирования огневого средства

$$\bar{t}_u = \sum_{i=1}^k \sum_{r=1}^l \gamma_{ir} t_{ui} \quad \bar{\lambda} = \frac{\bar{p}}{\bar{t}_u}. \quad (12)$$

В результате задача оценки боевых потенциалов разнородных группировок сводится к рассмотренной выше задаче для однородных группировок.

Рассмотрим несколько иллюстративных примеров.

Пример 1. В **таблице 1** приведены потребные наряды для поражения объектов противника ударным авиационным комплексом (АК) с заданным вариантом боевого снаряжения

Решение. По формуле (8) рассчитываем значение боевого потенциала АК

$$p = \frac{0,4}{1} + \frac{0,2}{2} + \frac{0,2}{3} + \frac{0,15}{4} + \frac{0,05}{6} = 0,6$$



Это означает, что в среднем один АК поражает 0,6 объекта.

Пример 2. В таблице 2 по заданной совокупности объектов приведены значения

боевых потенциалов различных средств огневого поражения, их приоритетность и численность в составе группировки.

Таблица 2 - Значения боевых потенциалов различных средств огневого поражения, их приоритетность и численность в составе группировки

Тип огневого средства	Численность в составе группировки	Коэффициент боевого потенциала	Приоритетность в решении огневых задач	Коэффициент соизмеримости
Вертолет Ми-24Н	12	1,0	0,2	0,67
РСЗО «Смерч»	18	1,6	0,3	1,0
Танк Т-80У	30	0,4	0,15	0,5
Бронетранспортер БТР-80	80	0,1	0,1	0,33
Артиллерийский комплекс «Мста-С»	24	0,8	0,25	0,83

Требуется определить численность огневых средств в приведенной группировке, боевой потенциал группировки и средний потенциал ее огневых средств.

Решение. По формуле (7) рассчитываем коэффициенты соизмеримости огневых средств относительно РСЗО «Смерч», принятого за «эталон», как имеющего максимальный приоритет в решении огневых задач группировки. Значения коэффициентов соизмеримостей приведены в крайнем правом столбце табл.2. Затем по формуле (8) рассчитываем общую численность огневых средств в приведенной группировке

$$N = 0,67 \times 12 + 1,0 \times 18 + 0,5 \times 30 + 0,33 \times 80 + 0,83 \times 24 \approx 87$$

а по формуле (9) ее боевой потенциал

$$P = 0,67 \times 1 \times 12 + 1,0 \times 1,6 \times 18 + 0,5 \times 0,4 \times 30 + 0,33 \times 0,1 \times 80 + 0,83 \times 0,8 \times 24 = 35,5$$

Средний потенциал огневого средства в приведенной группировке, согласно формуле (11), составляет

$$\bar{p} = \frac{P}{N} = \frac{35,5}{87} \approx 0,41$$

Пример 3. Требуется исследовать динамику изменения боевых потенциалов группировок без восстановления в ходе боя продолжительностью $t_{on} = 3$ часа при следующих исходных данных (таблица 3):

Таблица 3 – Исходные данные

Параметры группировок	Сторона 1	Сторона 2
Приведенная численность группировки	87	100
Боевой потенциал группировки	35,5	60
Средний боевой потенциал огневого средства	0,41	0,6

Решение. По формулам (4), (5) рассчитываем динамику изменения боевых по-

тенциалов и их соотношение. Данные расчетов приведены на графиках (рисунки 1 и 2).

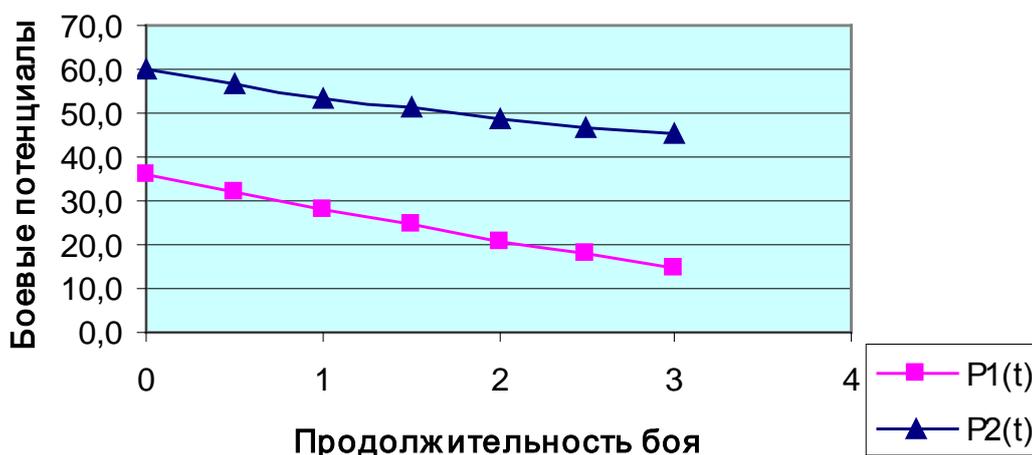


Рисунок 1 – Динамика боевых потенциалов противоборствующих группировок.

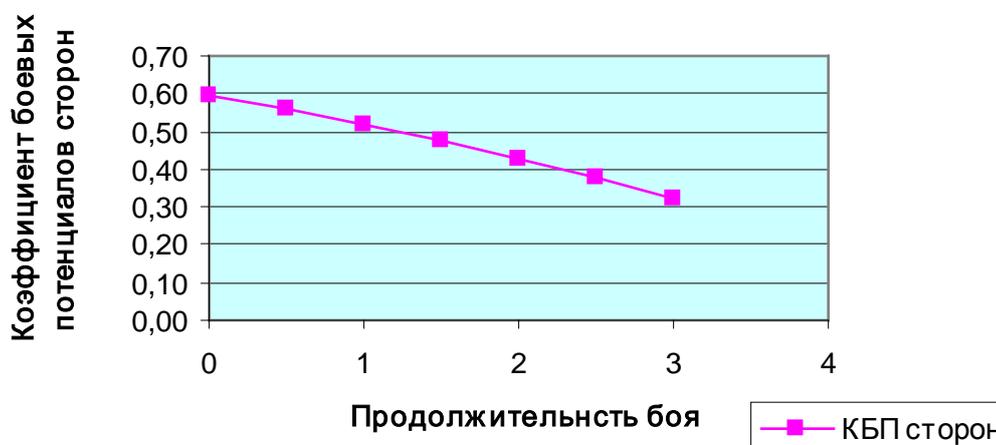


Рисунок 2 – Динамика соотношения боевых потенциалов (КБП) сторон.

Как видно из графиков, первая сторона за 3 часа боя более чем на 50% утрачивает свой боевой потенциал, что соответствует разгрому ее группировки. Это связано с тем, что вторая сторона обладает большей численностью и эффективностью огневых средств.

Предположим, что первая сторона увеличила свою численность до $N = 120$ единиц с сохранением их эффективности. Результаты расчетов приведены на графиках (рисунки 3 и 4).

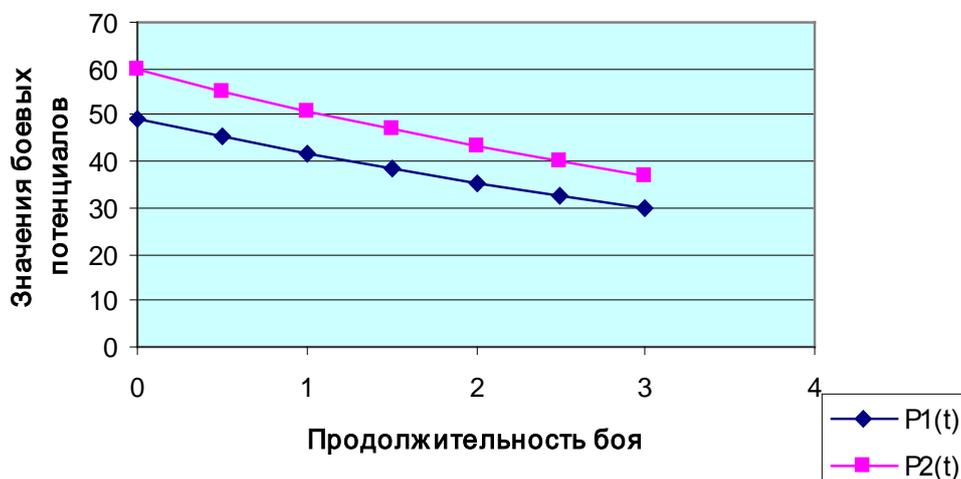


Рисунок 3 – Динамика боевого потенциала противоборствующих группировок.

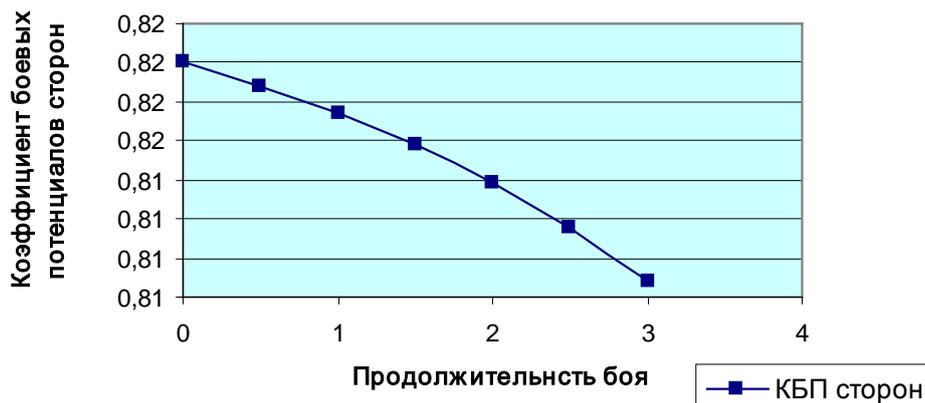


Рисунок 4 – динамика боевого потенциала противоборствующих группировок.

В этом случае первая сторона уступает противнику, но соотношение их боевых потенциалов в ходе боя практически не изменяется.

Пример 4. Группировка первой стороны при одинаковой численности с противником $\frac{N_1}{N_2} = 1$, но уступая ему в эффективности ог-

невых средств ($\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = 0,68$), осуществляет

восполнение своей численности с интенсивностью $\mu_1 = 0,3$ 1/час. Требуется оценить влияние восполнения на боевой потенциал группировки и исход боя.

Решение. В результате интегрирования системы уравнений (5) при $\mu_1 = 0,3$ 1/час; $\mu_2 = 0$, получаем следующий результат (рисунки 5 и 6):

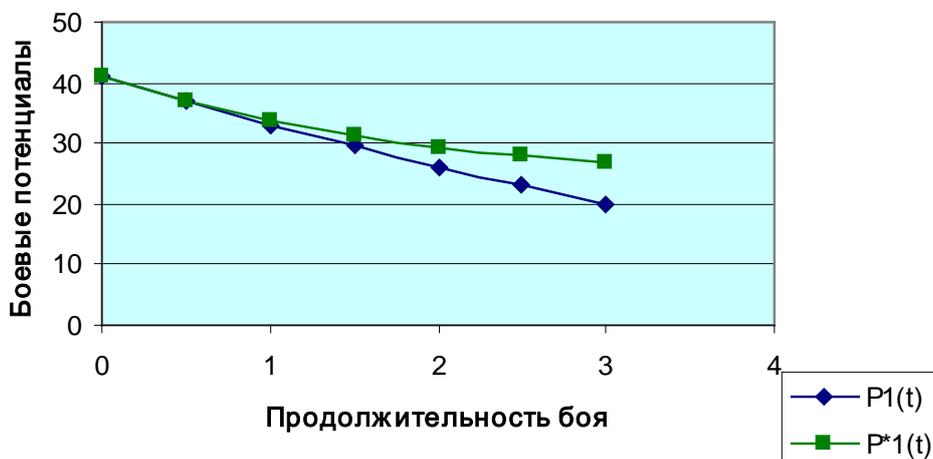


Рисунок 5 – Динамика боевого потенциала в зависимости от восполнения ее численности.

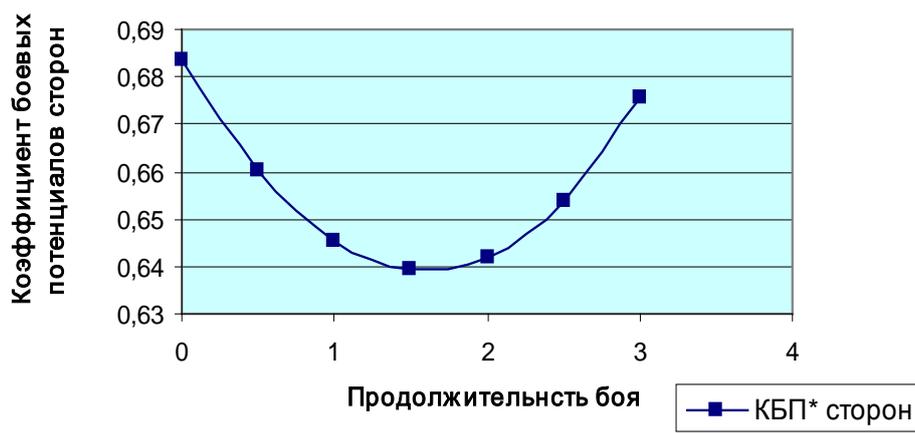


Рисунок 6 – Динамика соотношения боевых потенциалов (КБП) сторон.

Таким образом, за счет восполнения группировка первой стороны повышает свой боевой потенциал ($P_1^*(t) > P_1(t)$) и в ходе боя уравнивает свои боевые возможности (рисунок 6).

Из приведенных примеров следует, что предложенная модель оценки боевых потенциалов ВФ дает вполне адекватные результаты и позволяет решать задачи оперативной оценки и прогнозирования результатов противоборства в динамике боевых действий. Она может быть использована при разработке программного обеспечения для ситуационного центра Министерства обороны.

Список использованных источников

1 Стрельченко Б.И., Иванов Е.И. Некоторые вопросы оценки соотношения сил и средств в операциях // Военная мысль, №10, 1987.

2 Проблемные вопросы планирования и оценки огневого поражения противника в современной операции. Монография. ВАГШ РФ.- М.: 2008.

3 Протасов А.А., Морозов Н.А., Стрелков. Нечетко-множественный подход к оценке боевых потенциалов, соотношения сил и боевых возможностей группировок войск (сил) в операциях // Военная мысль, 2008, №9

4 Нарышкин В.Г. О показателях боевого потенциала воинских формирований// Военная мысль, 2009, №1.

5 Бонин А.С., Горчица Г.И. О боевых потенциалах образцов ВВТ, формирований и соотношениях сил группировок сторон//Военная мысль, №4, 2010.

6 Буравлев А.И., Гордеев С.В. Модель динамики противоборства неоднородных сил//Электронный журнал «Вооружение и экономика», № 1(5), 2009.

7 Брезгин В.С., Буравлев А.И., Цырендоржиев С.Р. К вопросу о методологии оценки боевых потенциалов ВВТ и воинских формирований//Электронный журнал «Вооружение и экономика, №3(7), 2009.

8 Саати Т. Принятие решений: Метод анализа иерархий. - М.: Сов. Радио, 1993.