

Доктор технических наук, профессор Буравлев А.И.

### Агрегированная модель противоборства боевых систем

В статье рассмотрен подход к построению агрегированной модели противоборства двух боевых систем. Боевая система представлена как совокупность взаимодействующих функциональных подсистем: подсистемы ударных средств, информационно-управляющей подсистемы и подсистемы материально-технического обеспечения.

Эффективность боевой системы предложено оценивать средневзвешенным индикатором парных сравнений функциональных показателей боевых систем, который характеризует количественно-качественное соотношение на момент окончания операции. Авторами получены расчетные формулы и приведен пример использования модели для анализа боевых возможностей боевых систем.

**Введение.** Современные группировки войск (сил) представляют собой крупномасштабные боевые системы, включающие в себя личный состав, разнотипные средства вооружения и военной техники (ВВТ), объединенные единой системой боевого, технического и тылового обеспечения.

Обобщенно боевую систему (БС) можно представить как совокупность взаимодействующих функциональных подсистем: подсистему ударных средств (УС), информационно-управляющую подсистему (ИУС) и подсистему материально-технического обеспечения (СМТО) (рисунок 1).

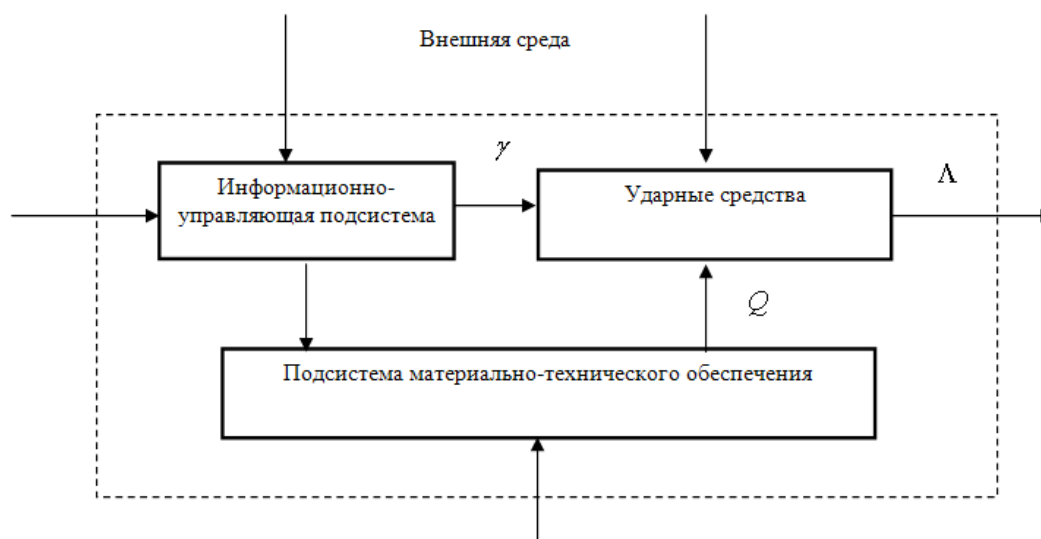


Рисунок 1 – Функциональная структура БС

Информационно-управляющая подсистема обеспечивает обнаружение и распознавание объектов противника, выдачу целеуказания ударным средствам и управление огнем. Ударные средства осуществляют огневое и радиоэлектронное поражение объектов противника. Подсистема материально-технического обеспечения обеспечивает материальными средствами (боеприпасы, топливо, продовольствие, ремонтные комплекты и др.) боевую работу ИУС и УС.

Детальное моделирование процессов функционирования БС в условиях противоборства представляет собой весьма сложную научную и прикладную проблему, для решения которой требуются значительные интеллектуальные, информационные и вычислительные ресурсы. Имеющиеся в настоящее время моделирующие программно-технические комплексы «Спектр», «Арбат-НВ-Центр» и др. позволяют производить имитационное моделирование БС различного уровня для заданных условий боевых дейст-

вий. Однако подготовка исходных данных и собственно моделирование процессов требует значительного времени и трудозатрат. Между тем существуют задачи военного планирования, требующие оперативного принятия решений и допускающие приближенную оценку количественно-качественных характеристик БС<sup>1</sup>.

Для этих целей необходимо иметь агрегированные модели, учитывающие основные параметры БС и условия их применения. Такие модели могут быть построены на базе теории систем массового обслуживания<sup>2</sup>. Предпосылками к этому служат следующие основания.

Реальная боевая система состоит из большого числа элементов, связанных между собой различными связями, процесс функционирования которых имеет стохастический характер. При определенных допущениях это процесс может быть смоделирован марковским непрерывным процессом с дискретным множеством состояний<sup>3</sup>. Основным допущением, строгость которого часто вызывает сомнение, является ординарность и отсутствие последствия в реальном процессе. Однако надлежащим выбором состояний БС и ограничением интенсивностей переходов в различные состояния можно обеспечить выполнение этих требований. В этом случае процесс функционирования БС можно с достаточной степенью корректности описать системой массового обслуживания (СМО) с различной дисциплиной обслуживания заявок. Применяя далее метод «динамики средних» можно получить уравнения типа Ланчестера для средних численностей элементов различных подсистем БС. Рассмотрим применение данного подхода к построению модели противоборства двух БС.

**Описание модели.** Рассматривается процесс противоборства двух БС. Каждая БС имеет в своем штатном составе  $N_i$ , ( $i = 1, 2$ ) однотипных ударных средств,  $n_i$  каналов целеуказания и управления УС,  $m_i$  баз снабжения материальными средствами. Ка-

ждый канал управления обслуживает  $\frac{N_i}{n_i}$

ударных средств. Предполагается, что на каждой базе снабжения имеется одинаковый запас материальных средств  $q_i$ ; при этом суммарный запас материальных средств БС составляет величину  $Q_i = m_i q_i$ . Этот запас обеспечивает боевое применение УС в течение времени проведения операции  $T_{on}$ . Ударные средства действуют по всем объектам противника (УС, ИУС, СМТО) в соответствии с целераспределением  $\gamma_{ij} \geq 0$ ,

$\sum_{j=1}^3 \gamma_{ij} = 1$ , осуществляя их поражение со средними вероятностями  $W_{ij} \geq 0$ ,  $\sum_{j=1}^3 W_{ij} = 1$ .

Целераспределение  $\gamma = (\gamma_{ij})_{i \times 3}$  по существу определяет стратегию действия БС в операции. Максимальная интенсивность действия УС в текущий момент времени зависит от величины запасов материальных средств, количества УС, а также оставшейся продолжительности операции и определяется соотношением  $\lambda_i(t) = \frac{Q_i}{N_i(T_{on} - t)}$ . Уменьше-

ние запасов материальных средств  $Q_i$  происходит в результате их потребления УС с интенсивностью  $\lambda_i$ , а также вследствие огневого поражения баз МТО. При поражении канала ИУС происходит потеря управления  $\frac{N_i}{n_i}$  количеством УС, связанных с этим каналом. В этом случае данное количество УС не участвует в поражении объектов. В процессе боевых действий осуществляется восстановление пораженных УС с интенсивностью  $\mu_i$  и каналов ИУС с интенсивностью  $\nu_i$ .

При этих условиях можно составить систему дифференциальных (разностных) уравнений для средних численностей объектов противоборствующих БС. Эта система имеет следующий вид<sup>4</sup>:

<sup>1</sup> Морозов Н.А. Теоретические основы качественного анализа больших военных систем. - М.: Министерство обороны, 2003.

<sup>2</sup> Тараканов К.В., Овчаров Л.А., Тырышкин А.Н. Аналитические методы исследования систем. - М.: Сов. Радио, 1974.

<sup>3</sup> Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. - М.: Наука, 1992.

<sup>4</sup> Надчерк символа означает среднее значение численности, обозначаемой данным символом



$$\begin{aligned}
\frac{d\bar{N}_1}{dt} &= -\Lambda_{21}(t) \frac{N_2}{n_2} \bar{n}_2(t) + \mu_1 [N_1 - \bar{N}_1(t)]; \bar{N}_1(0) = N_1; \\
\frac{d\bar{N}_2}{dt} &= -\Lambda_{11}(t) \frac{N_1}{n_1} \bar{n}_1(t) + \mu_2 [N_2 - \bar{N}_2(t)]; \bar{N}_2(0) = N_2; \\
\frac{d\bar{n}_1}{dt} &= -\Lambda_{22}(t) \frac{N_2}{n_2} \bar{n}_2(t) + \nu_1 [n_1 - \bar{n}_1(t)]; \bar{n}_1(0) = n_1; \\
\frac{d\bar{n}_2}{dt} &= -\Lambda_{12}(t) \frac{N_1}{n_1} \bar{n}_1(t) + \nu_2 [n_2 - \bar{n}_2(t)]; \bar{n}_2(0) = n_2; \\
\frac{d\bar{m}_1}{dt} &= -\Lambda_{23} \frac{N_2}{n_2} \bar{n}_2(t); \bar{m}_1(0) = m_1; \\
\frac{d\bar{m}_2}{dt} &= -\Lambda_{13} \frac{N_1}{n_1} \bar{n}_1(t); \bar{m}_2(0) = m_2; \\
\frac{d\bar{Q}_1}{dt} &= -\lambda_1(t) \frac{N_1}{n_1} \bar{n}_1(t) - q_1 [m_1 - \bar{m}_1(t)]; \bar{Q}_1(0) = Q_1 \\
\frac{d\bar{Q}_2}{dt} &= -\lambda_2(t) \frac{N_2}{n_2} \bar{n}_2(t) - q_2 [m_2 - \bar{m}_2(t)]; \bar{Q}_2(0) = Q_2; \\
\lambda_1(t) &= \frac{\bar{Q}_1(t)}{N_1(t)[T_{on} - t]}; \lambda_2(t) = \frac{\bar{Q}_2(t)}{N_2(t)[T_{on} - t]},
\end{aligned} \quad (1)$$

где  $\Lambda_{ij} = \lambda_i \gamma_{ij} W_{ij}$  – интенсивность поражающего действия одиночного УС по объектам поражения.

Интегрирование системы уравнений (1) позволяет получить изменение численности различных объектов БС в ходе операции. Изменением параметров модели  $N_i, n_i, m_i, q_i, \gamma_{ij}, W_{ij}, \mu_i, \nu_i, T_{on}$  можно управлять процессом противоборства и оценивать его конечный эффект.

Эффективность БС предлагается оценивать средневзвешенным индикатором парных сравнений функциональных показателей БС, который характеризует количественно-качественное соотношение на момент окончания операции:

$$KKC = \left( \frac{\bar{N}_1}{N_2} \right)^{\alpha_1} \left( \frac{\bar{n}_1}{n_2} \right)^{\alpha_2} \left( \frac{\bar{Q}_1}{Q_2} \right)^{\alpha_3}, \quad (2)$$

где  $\alpha_j > 0$ ,  $\sum_{j=1}^3 \alpha_j = 1$  – коэффициенты значимости функциональных показателей БС, устанавливаемые экспертами.

Если показатель  $KKC > 1$ , то БС1 имеет большие боевые возможности по сравнению с БС2, в противном случае – наоборот. Равенство  $KKC = 1$  свидетельствует о равных боевых возможностях БС.

Из анализа выражения (2) видно, что данный показатель учитывает критерии

оценки боевых возможностей воинских формирований различного уровня, применяемые в военной теории и практике. Например, в случае исчерпания запасов материальных средств до окончания операции ( $Q(t) = 0$ ,  $t < T_{on}$ ), БС становится полностью небоеспособной ( $KKC = 0$ ). В случае, если по всем функциональным показателям БС превосходит противника, то она имеет превосходство и в количественно-качественном соотношении ( $KKC > 1$ ). Если к концу операции БС имеет потери более 50% ударных средств и каналов управления ими, то она считается небоеспособной. В этом случае показатель количественно-качественного соотношения примет значение  $KKC \leq 0,5$ . Таким образом, индикатор парных сравнений  $KKC$  дает не противоречащие военной теории и практике оценки боевых возможностей БС в ходе операций.

Рассмотрим пример применения полученной выше модели противоборства БС для качественного анализа их боевых возможностей.

**Пример.** В таблице 1 приведены основные характеристики противоборствующих БС. Восстановление элементов БС в ходе операции отсутствует.

Моделирование процесса противоборства и расчет  $KKC$  показывает, что к концу операции БС будут иметь характеристики, представленные в таблице 2.

На рисунке 2 показан график изменения  $KKC$  по дням операции, из которого видно, что в начальный период боевых действий превосходство было на стороне БС1. Причем оно достигло максимума к 6-7 суткам, но затем стало быстро снижаться до нуля к концу операции. Данный результат объясняется тем, что БС2 в отличие от БС1 сосредоточило свои усилия на поражение баз снабжения БС1 материальными средствами. В результате такой стратегии БС1 к концу операции полностью исчерпала свои запасы, в то время как БС2 сохранила к концу операции 21% материальных запасов, 65% ударных сил и 80% каналов боевого управления. Это дает возможность БС2 продолжать боевые действия и беспрепятственно наносить удары по противнику.

Таблица 1 – Основные характеристики противоборствующих БС

Состав БС	БС1			БС2		
	Ударные силы	Каналы ИУС	Базы снабжения	Ударные силы	Каналы ИУС	Базы снабжения
Численность	100	20	10	80	10	8
Запасы МС, б.к.			100			100
Целераспределение	0,5	0,3	0,2	0,2	0,3	0,5
Вероятность поражения	0,5	0,1	0,15	0,5	0,2	0,15
Значимость подсистем	0,2	0,3	0,5	0,2	0,3	0,5
Продолжительность Операции, сутки	10					

Таблица 2 – Основные характеристики противоборствующих БС к концу операции

Состав БС	БС1			БС2		
	Ударные силы	Каналы ИУС	Базы снабжения	Ударные силы	Каналы ИУС	Базы снабжения
Численность	92	18	6	65	8	6
Запасы МС, б.к.			0			21
ККС	0,0					

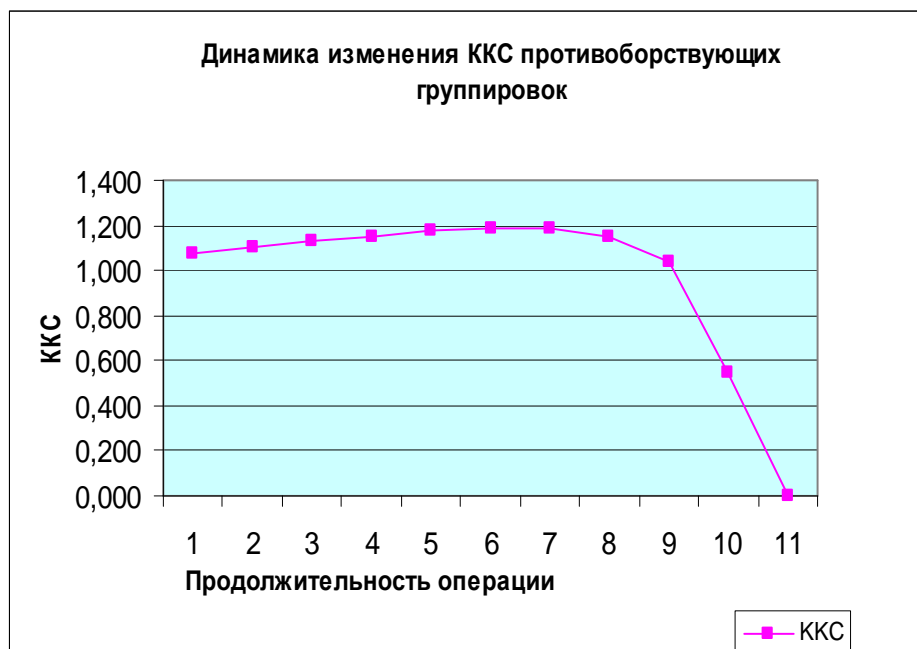


Рисунок 2

Изменим стратегию БС1, сосредоточив усилия на поражение каналов управления и баз снабжения БС2. Это обеспечивается заданием следующего целераспределения:

$$\gamma_{11} = 0,2; \gamma_{12} = 0,3; \gamma_{13} = 0,5.$$

Результаты моделирования приведены в таблице 3 и показаны на рисунке 3. Откуда видно, что при данной стратегии действия БС1 имеет полное превосходство над БС2 в ходе всей операции. В конце операции БС1

имеет превосходство по всем частным показателям и четырехкратное превосходство по

ККС.

Таблица 3

Состав БС	БС1			БС2		
	Ударные силы	Каналы ИУС	Базы снабжения	Ударные силы	Каналы ИУС	Базы снабжения
Численность	94	18	7	73	8	3
Запасы МС, б.к.			0,1			0
ККС	4,2					

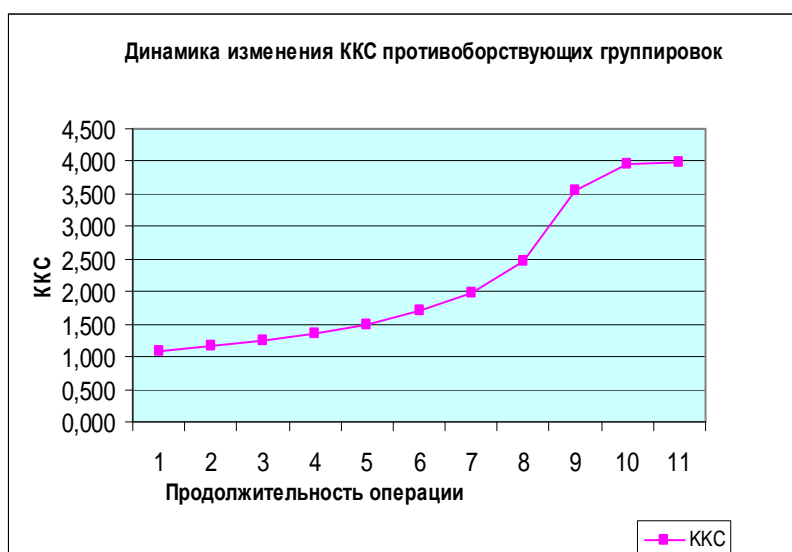


Рисунок 3

Исследования данной модели показали, что она достаточно чувствительна к основным характеристикам БС и стратегиям их действия в операции. На рисунках 4, 5 приведены зависимости ККС и продолжительности ведения боевых действий ( $T_{оп}$ ) бое-

вой системой в зависимости от соотношения числа каналов ИУС и баз снабжения СМТО при одинаковых характеристиках и стратегиях действия БС.

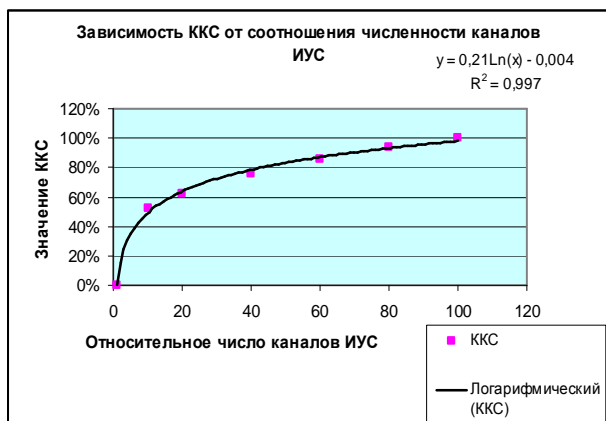


Рисунок 4

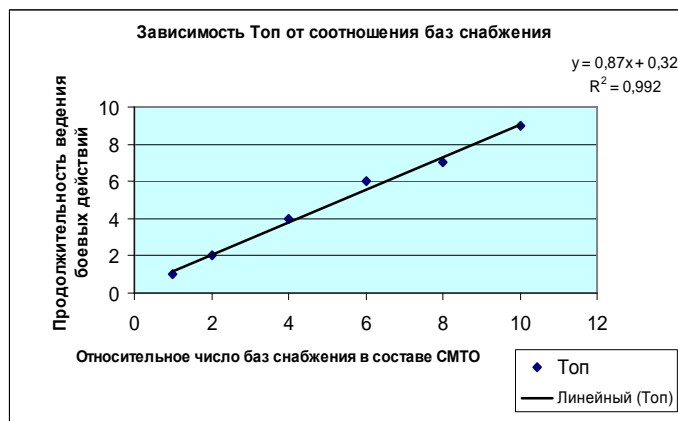


Рисунок 5

На этих же графиках показаны аппроксимирующие зависимости  $ККС(n)$  и  $T_{оп}(m)$  в виде уравнений регрессии с оценкой степени их адекватности  $R^2$ .

При изменении стратегии БС1 изменяется и характер зависимостей  $ККС(n)$ ,  $T_{оп}(m)$ . Так, например, при изменении стратегии целераспределения БС1 на противоположную относительно стратегии БС2 эти зависимости принимают иной вид

(рисунки 6, 7).

**Заключение.** Проведенные исследования показывают, что предложенная агрегированная модель обладает достаточной адекватностью для описания процесса противоборства крупномасштабных БС и может быть использована в задачах оперативного планирования и анализа эффективности операций с применением крупных воинских формирований.

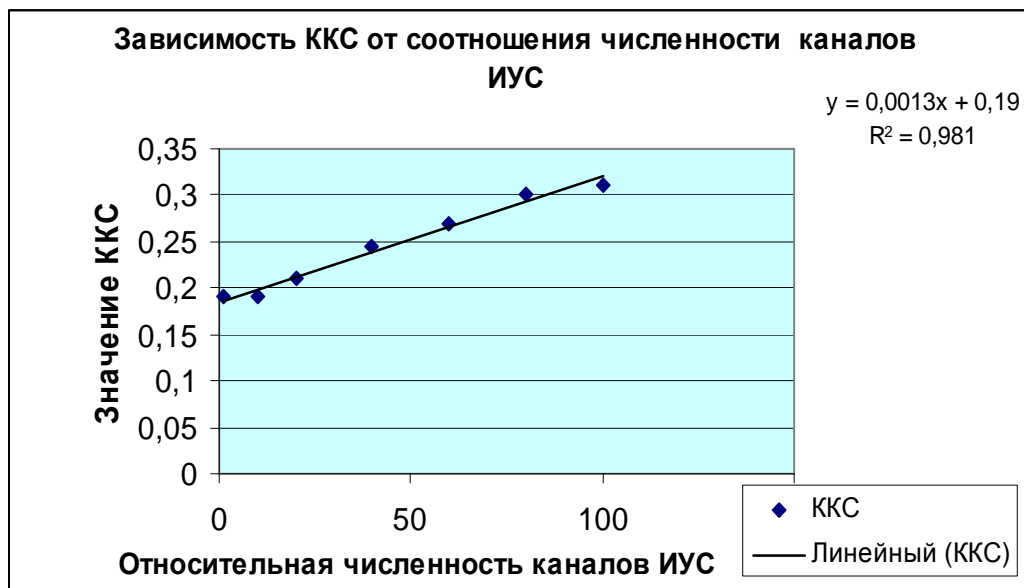


Рисунок 6

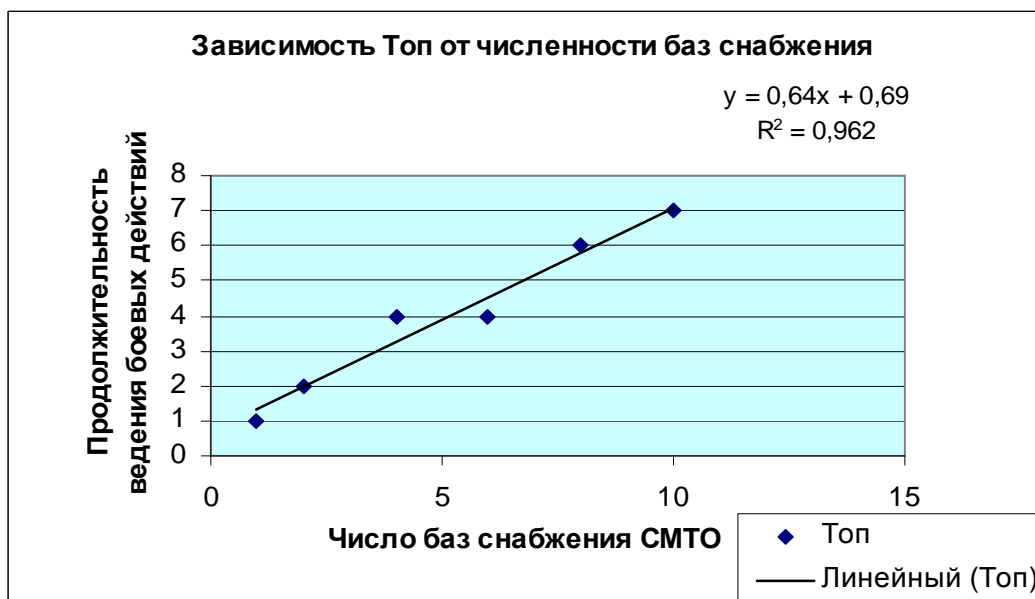


Рисунок 7