

УДК 519.876

Аналитическая модель боевого эпизода

Бойко А. А., Майхуб Х. И., Овчинников К. Е.

Постановка задачи. Настоящая статья продолжает цикл работ, посвященных экспресс-оценке соотношения боевых потенциалов сторон в современном бою. Адекватные и быстрые решения в таком бою должны базироваться на применении модели боя, которая учитывает всю известную совокупность видов и объектов воздействия и защиты от них. Широко известны высоко детализированные имитационные модели боя, которые требуют значительных временных и вычислительных ресурсов. Но они ориентированы на применение в исследовательских и учебных целях. Также известна численно-аналитическая модель боевого эпизода, воспроизводящая в виде единой системы процессы огневого поражения, разведки, связи, управления и имитации обстановки в боевых циклах противоборствующих воинских формирований, когда их элементы боевых порядков неподвижны и влияют друг на друга с неизменной интенсивностью. Эта модель является базовой для метода боевых эпизодов, в котором бой представляется в виде древовидного графа, ветви которого являются разноранговыми последовательностями боевых эпизодов. Однако в ней только одна из сторон включает подсистему радиоэлектронной борьбы, реализующую радиоэлектронное подавление, поражение электромагнитным излучением и кибератаки на информацию в ее источниках, при передаче и в потребителях. Это значительно ограничивает применимость модели. К тому же использование численного метода приводит к нежелательному увеличению вычислительной сложности при производстве расчетов для древовидного графа боя. **Цель работы:** повышение оперативности моделирования боевого эпизода за счет отказа от применения численного метода и его адекватности за счет воспроизведения радиоэлектронных воздействий в процессе двустороннего противодействия боевым циклам. **Методы:** теория вероятностей, логико-алгебраические выражения. **Новизна** состоит в учете при моделировании современного боя влияния техники радиоэлектронной борьбы на временные и вероятностные характеристики функционирования подсистем разведки, связи, управления и огневого поражения при их совместном применении в рамках боевых циклов каждой из противоборствующих сторон. **Результат:** разработана аналитическая модель боевого эпизода с двусторонним использованием огневого поражения, разведки, связи, управления, имитации обстановки и радиоэлектронной борьбы. **Практическая значимость:** решение можно использовать при разработке перспективных систем поддержки принятия решения тактического звена.

Ключевые слова: аналитическая модель, боевой эпизод, боевой потенциал, воинское формирование, боевой цикл, радиоэлектронная борьба, разведка, управление, связь, огневое поражение.

Актуальность

В современном бою применяется широкая номенклатура разнородных образцов вооружения и военной техники, воздействующих как на материальные объекты, так и на информацию в ее источниках, при передаче и в потребителях. Задача принятия не только адекватного, но и быстрого решения в таком бою является весьма важной. Она должна решаться с использованием автоматизированных средств поддержки принятия решения, базирующихся на применении модели боя, которая может учитывать всю известную совокупность видов и объектов воздействия и защиты от них.

Библиографическая ссылка на статью:

Бойко А. А., Майхуб Х. И., Овчинников К. Е. Аналитическая модель боевого эпизода // Системы управления, связи и безопасности. 2025. № 2. С. 119-137. DOI: 10.24412/2410-9916-2025-2-119-137

Reference for citation:

Boyko A. A., Maihoub H. I., Ovchinnikov K. E. Combat Episode Analytical Model. *Systems of Control, Communication and Security*, 2025, no. 2, pp. 119-137 (in Russian). DOI: 10.24412/2410-9916-2025-2-119-137

Постановка задачи

На сегодняшний день известна широкая номенклатура моделей боевых действий. Обзору таких моделей уделено внимание во многих научных публикациях (например, [1-7]). Эти модели можно разделить на две группы:

- первая группа – имитационные модели, в основе которых лежит метод статистических испытаний. Такие модели могут иметь высокий уровень детализации. Но их применение требует значительных временных и вычислительных ресурсов и ориентировано преимущественно на научные исследования;
- вторая группа – аналитические и численно-аналитические модели. Они имеют меньший уровень детализации в сравнении с моделями первой группы, но могут быстро давать приемлемый для практики результат и имеют низкую ресурсоемкость. Такие модели ориентированы на учебные цели и на применение в боевых условиях для решения оптимизационных задач, возникающих в режиме реального времени.

В [7] предложена высокодетализированная модель боевого эпизода, которая относится к моделям второй группы. Она предназначена для использования в ходе боя при решении задачи целераспределения разнородных сил и их средств, воздействующих одновременно на материю и информацию противника, по критерию достижения максимального соотношения сил в текущей тактической ситуации. Для верификации этой модели в [7-9] предложена низкодетализированная численно-аналитическая т.н. «эталонная модель» боевого эпизода, которая воспроизводит в виде единой системы процессы огневого поражения (ОП), разведки, связи, управления и имитации обстановки в боевых циклах двух противоборствующих воинских формирований. Обе предложенные модели (высокодетаализированная и эталонная) ориентированы на применение в контексте широко известного метода боевых эпизодов, представляющего бой в виде древовидного графа, ветви которого являются разноранговыми последовательностями боевых эпизодов, в которых элементы боевых порядков неподвижны и влияют друг на друга с неизменной интенсивностью. При этом количество боевых эпизодов определяется имеющимися временными и вычислительными ресурсами в соответствии с изложенным в [7] алгоритмом.

В эталонной модели боевого эпизода используется математический аппарат теории вероятностей, теории марковских процессов и логико-алгебраические выражения. Эта модель позволяет получить значение боевого показателя соотношения боевых потенциалов (от лат. *potentia* – сила) сторон. Данная модель прошла успешную верификацию не только на классических моделях боя Осипова-Ланчестера (см. [7]), но и на исходных данных и результатах реальных боев. Оказалось, что изначально созданная для верификации более сложной модели эталонная модель имеет самостоятельное практическое значение для антагонистических конфликтов с низкой динамикой. Например, в процессе противодействия террористическим угрозам на критически важных объектах (КВО), в том числе с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Однако в этой модели только одна из сторон дополнительно включает подсистему радиоэлектронной борьбы (РЭБ), реализующую радиоэлек-

тронное подавление (РЭП), поражение электромагнитным излучением (ЭМИ) и кибератаки на информацию в ее источниках, при передаче и в потребителях (см. рис. 1). Это ограничивает применимость модели. К тому же использование численного метода приводит к нежелательному увеличению вычислительной сложности при производстве расчетов для древовидного графа конфликта.

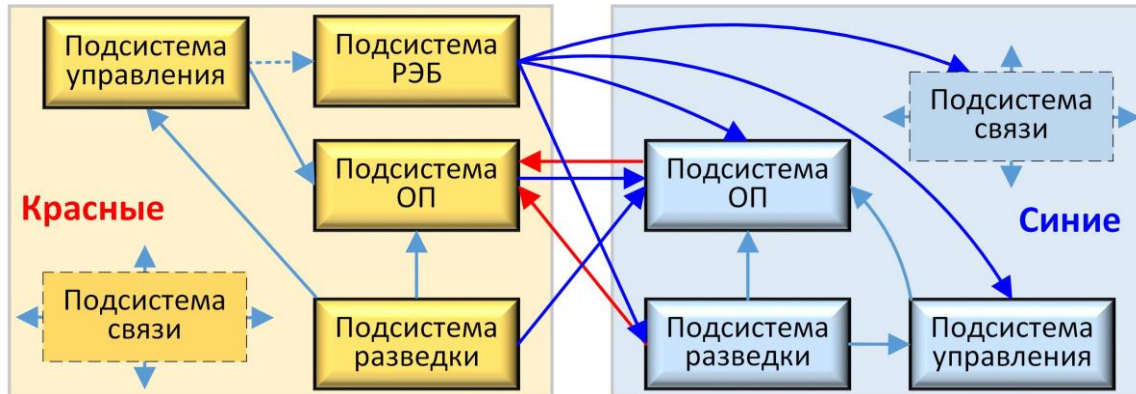


Рис. 1. Структурная схема сторон и направления воздействий в боевом эпизоде с ведением РЭБ одной стороной

Цель работы – разработка аналитической модели боевого эпизода, позволяющей воспроизвести радиоэлектронные воздействия в процессе двустороннего противодействия боевым циклам, объединяющим процессы разведки, связи, управления, огневого поражения и имитации обстановки.

Решение задачи

А. Теорема о соотношении боевых потенциалов воинских формирований в боевом эпизоде

Для решения задачи разработки аналитической модели боевого эпизода необходимо сформулировать соответствующий теоретический базис. В основе предлагаемой аналитической модели боевого эпизода лежит теорема о соотношении боевых потенциалов воинских формирований в боевом эпизоде, доказываемая геометрическим методом. Некоторые элементы настоящего доказательства изложены в [7, 8]. Тем не менее в настоящей статье эти элементы систематизированы, и теорема в каноническом виде рассматривается впервые.

Дано:

- боевой эпизод с участием двух сторон – Синих и Красных, элементы боевых порядков которых неподвижны. Синие и Красные – это обозначения сторон без привязки к идеологии или устоявшимся стереотипам;
- $N_{\text{син}}$ и $N_{\text{кр}}$ – эффективная численность, соответственно, Синих и Красных, перед началом боевого эпизода. Эффективная численность воинского формирования – это суммарная взвешенная численность воинского формирования, в которой каждый элемент его боевого порядка считается с учетом его коэффициента боевой соизмеримости. Методика оценки коэффициентов боевой соизмеримости приведена в [7]. Восстановление средств в ходе боевого эпизода не происходит, дополнительные резервы не придаются;

- интенсивности воздействия Синих и Красных постоянные, что обуславливает линейную зависимость остаточной эффективной численности сторон от времени;
- $T_{\text{син}}$ и $T_{\text{кр}}$ – времена до уничтожения Синих и Красных в боевом эпизоде, соответственно;
- $N_{\text{крит_син}}$ и $N_{\text{крит_кр}}$ – критические значения остаточной эффективной численности, соответственно, Синих и Красных, при которых они прекращают сопротивление и считаются полностью уничтоженными;
- $\delta N_{\text{син}}$ и $\delta N_{\text{кр}}$ – доля уничтоженных в боевом эпизоде Синих и Красных, соответственно;
- $\delta N_{\text{син}}^+$ и $\delta N_{\text{кр}}^+$ – остаточная после боевого эпизода доля Синих и Красных, соответственно.

Доказать утверждение: в боевом эпизоде соотношение боевых потенциалов воинских формирований равно соотношению времен до их уничтожения.

Доказательство

Для доказательства воспользуемся геометрическим методом. Для этого построим геометрическую интерпретацию динамики эффективной численности противоборствующих сторон (Синих и Красных) в боевом эпизоде. Возможные варианты динамики эффективной численности сторон при победе Синих, когда их эффективная численность перед началом боевого эпизода больше или меньше таковой у Красных, показаны на рис. 2.

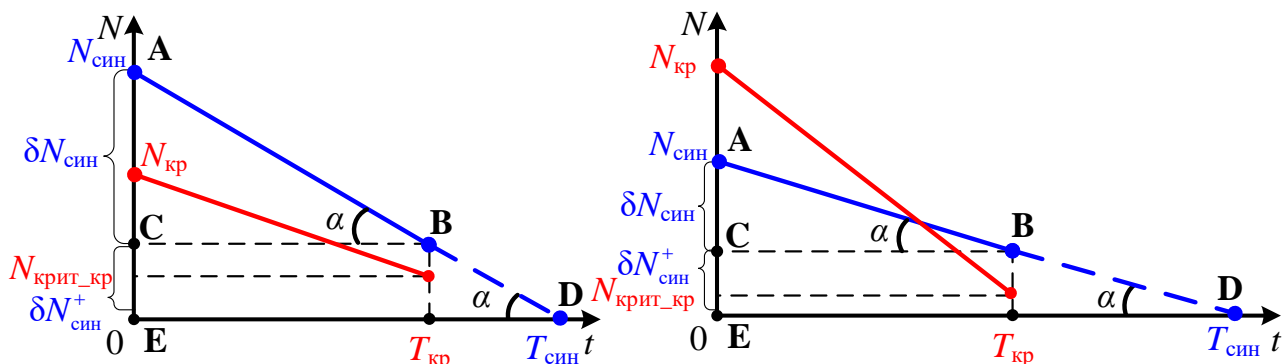


Рис. 2. Геометрическая интерпретация возможных вариантов динамики эффективной численности воинских формирований в боевом эпизоде

То есть Красные прекратили сопротивление в момент времени $T_{\text{кр}}$, когда их эффективная численность сократилась до критического значения $N_{\text{крит_кр}}$. А Синие были бы уничтожены в момент времени $T_{\text{син}}$, если бы Красные продолжили сопротивление. Боевой эпизод может иметь и большую продолжительность, чем значения времен $T_{\text{син}}$ и $T_{\text{кр}}$. То есть либо время $T_{\text{кр}}$, либо времена $T_{\text{син}}$ и $T_{\text{кр}}$ являются результатом экстраполяции, основанной на начальных скоростях потерь каждой из сторон, обусловленных их способностью влиять на противника и парировать его влияние. В момент $T_{\text{кр}}$ эффективная численность победивших Синих снизилась на $\delta N_{\text{син}}$.

На рис. 2 прямоугольные треугольники $\triangle ABC$ и $\triangle ADE$ подобны. Это следует из равенства их углов. Из этого следует соотношение:

$$\frac{\delta N_{\text{син}}}{N_{\text{син}}} = \frac{T_{\text{кр}}}{T_{\text{син}}}. \quad (1)$$

То есть боевые потери победивших Синих равны

$$\delta N_{\text{син}} = \frac{T_{\text{кр}} N_{\text{син}}}{T_{\text{син}}}. \quad (2)$$

Согласно основным положениям теории боевой эффективности боевой потенциал – это величина среднего ущерба, наносимого противнику за время его существования [10]. Выразить величину ущерба, наносимого противнику, через абсолютную величину не представляется возможным ввиду многообразия применяемых в бою образцов вооружения, воздействующих одновременно на «материю» и «информацию». Поэтому в качестве боевого потенциала воинского формирования в боевом эпизоде целесообразно рассматривать ущерб, нанесенный этим формированием совокупностью разнородных воздействий в течение этого боевого эпизода. Такой ущерб наиболее наглядно отражает доля потерь исходной эффективной численности воинского формирования.

В рассматриваемом примере Синие потеряли $\delta N_{\text{син}}/N_{\text{син}}$ своей численности. То есть отношение $\delta N_{\text{син}}/N_{\text{син}}$ определяет ущерб, который нанесли Синим Красные. Красные, в свою очередь, утратили всю свою численность. То есть Красным нанесен ущерб, соответствующий их полному уничтожению.

Поэтому у победивших Синих боевой потенциал равен 1, так как они уничтожили 100 % Красных. А у проигравших Красных боевой потенциал, соответственно, меньше 1 и равен потерянной доле сил Синих, т.е. $\delta N_{\text{син}}/N_{\text{син}}$. Тогда соотношение боевых потенциалов Синих относительно Красных $f_{\text{син/кр}}$ рассчитывается с использованием следующей формулы:

$$f_{\text{син/кр}} = \frac{1}{\left(\frac{\delta N_{\text{син}}}{N_{\text{син}}} \right)}. \quad (3)$$

Подставляя выражение (2) в (3), получаем следующую формулу для оценки соотношения боевых потенциалов, выраженную через времена до уничтожения сторон:

$$f = \frac{T_{\text{син}}}{T_{\text{кр}}}. \quad (4)$$

То есть в боевом эпизоде соотношение боевых потенциалов воинских формирований равно соотношению времен до их уничтожения.

Что и требовалось доказать.

Из доказанной теоремы предлагается сделать два следствия.

С л е д с т в и е № 1: в боевом эпизоде боевой потенциал воинского формирования выражается временем до его уничтожения.

С л е д с т в и е № 2: остаточная в заданный момент времени доля боевого потенциала воинского формирования в боевом эпизоде равна отношению времени с этого момента до уничтожения этого формирования ко времени до его уничтожения с начала боевого эпизода.

Кроме того, следует сделать важное замечание. Чтобы придать соотношению боевых потенциалов наглядный физический смысл, формулу (3) можно привести к следующему виду:

$$f = \frac{1}{\left(\frac{\delta N_{\text{син}}}{N_{\text{син}}}\right)} = \frac{N_{\text{син}}}{\delta N_{\text{син}}} = \frac{N_{\text{син}}}{N_{\text{син}} - \delta N_{\text{син}}^+} = \frac{1}{1 - \frac{\delta N_{\text{син}}^+}{N_{\text{син}}}} = \frac{1}{1 - \delta N_{\text{син}}^*}, \quad (5)$$

где: $\delta N_{\text{син}}^+$ и $\delta N_{\text{син}}^*$ – соответственно, остаточная эффективная численность (см. рис. 2) и остаточная доля эффективной численности победившей стороны.

В формуле (5) показатель остаточной доли численности победившей стороны $\delta N_{\text{син}}^*$ может использоваться в качестве альтернативного и весьма наглядного показателя, характеризующего соотношение боевых потенциалов сторон.

Б. Содержание аналитической модели боевого эпизода

Для определения значений времен $T_{\text{кр}}$ и $T_{\text{син}}$ в формуле (4) рассмотрим содержание аналитической модели боевого эпизода, симметричная структурная схема сторон и направления воздействий в котором показаны на рис. 3.

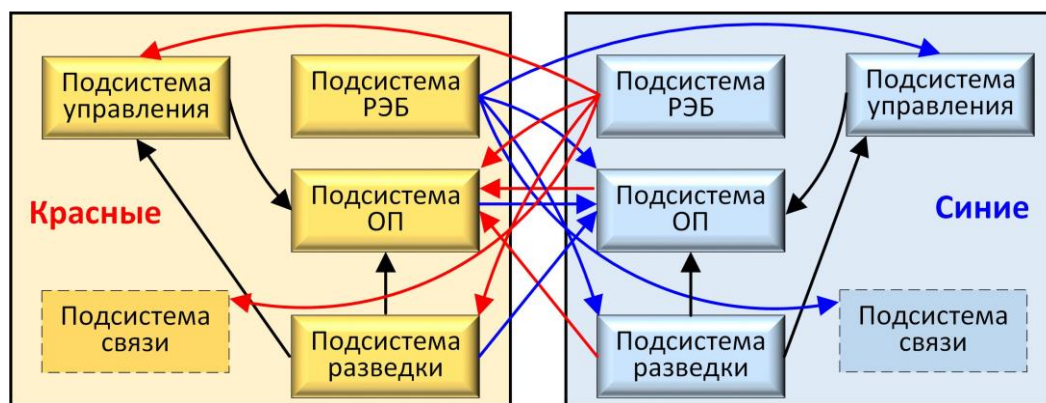


Рис. 3. Структурная схема сторон и направления воздействий в боевом эпизоде с двусторонним ведением РЭБ

Состав сторон включает подсистемы разведки, связи, управления, РЭБ и ОП. Стрелками показаны направления влияния подсистем сторон. Подсистема связи обеспечивает взаимодействие подсистем разведки, управления и ОП. Перечень исходных показателей подсистем приведен в таблице 1.

При расчете времен до уничтожения сторон в рассматриваемой аналитической модели используется двухтактная схема учета взаимного влияния сторон в конфликте, показанная на рис. 4. При двухтактной схеме расчет времени до уничтожения подсистемы ОП Синих проводится с учетом того, что на боевые циклы Красных, подсистема ОП которых уничтожают эту подсистему, оказывают влияние все способные к этому элементы Синих. Выбор двухтактной схемы обусловлен тем, что однотактная схема не учитывает противодействие, а выигрыш в адекватности детализации отдельного боевого эпизода при использовании даже трехтактной схемы нивелируется лавинообразным ростом сложности математических конструкций и необходимых вычислений.

Таблица 1 – Исходные данные для аналитической модели боевого эпизода

Обозначение	Физический смысл	Ед. измерен.
$U_{кр}, U_{син}$	ослабление ущерба обороняемым позициям Красных и Синих. Для наступающей стороны значение этого показателя равно единице. В формулах для упрощения этот показатель пишется без индекса	раз
$P_{гар}$	требуемая вероятность гарантированного ОП цели	–
$\Delta_{упр_кр}, \Delta_{упр_син}$	уровень информатизации подсистемы управления Красных и Синих	–
$\Delta_{разв_кр}, \Delta_{разв_син}$	уровень информатизации подсистемы разведки Красных и Синих	–
$\Delta_{св_кр}, \Delta_{св_син}$	уровень информатизации подсистемы связи Красных и Синих	–
$\Delta_{ОП_кр}, \Delta_{ОП_син}$	уровень информатизации подсистемы ОП Красных и Синих	–
$N_{ОП_кр}, N_{ОП_син}$	количество средств ОП Красных и Синих	ед.
$P_{1бп_кр}, P_{1бп_син}$	вероятность поражения цели одним боеприпасом средства ОП Красных и Синих	–
$T_{оп_кр}, T_{оп_син}$	время подготовки подсистемы ОП Красных и Синих, включающее время обработки управляющей информации (подразумевается, что в каналах нет очереди)	с
$T_{1бп_кр}, T_{1бп_син}$	время воздействия одним боеприпасом в подсистеме ОП Красных и Синих	–
$K_{бп_кр}, K_{бп_син}$	количество боеприпасов в боекомплекте одного средства ОП Красных и Синих	ед.
$N_{им_кр}, N_{им_син}$	количество имитируемых средств ОП Красных и Синих	ед.
$T_r_кр, T_r_син$	время работы подсистемы разведки Красных и Синих (обнаружение цели, анализ данных, подготовка информации; очереди нет)	с
$P_r_кр, P_r_син$	вероятность вскрытия и распознавания цели подсистемой разведки Красных и Синих	–
$T_{упр_кр}, T_{упр_син}$	время работы подсистемы управления Красных и Синих, (время оценки обстановки, принятия решения и подготовки управляющей информации; очереди нет)	с
$T_{св_кр}, T_{св_син}$	время передачи информации по каналу связи Красных и Синих	с
$P_{св_кр}, P_{св_син}$	вероятность гарантированной передачи информации Красных и Синих	–
$P_{РЭБ_упр_кр}, P_{РЭБ_упр_син}$	вероятность эффективного ведения РЭБ по подсистеме управления противника Красными и Синими	–
$P_{РЭБ_св_кр}, P_{РЭБ_св_син}$	вероятность эффективного ведения РЭБ по подсистеме связи противника Красными и Синими	–
$P_{РЭБ_разв_кр}, P_{РЭБ_разв_син}$	вероятность эффективного ведения РЭБ по подсистеме разведки противника Красными и Синими	–
$P_{РЭБ_ОП_кр}, P_{РЭБ_ОП_син}$	вероятность эффективного ведения РЭБ по подсистеме ОП противника Красными и Синими	–
$N_{РЭБ_кр}, N_{РЭБ_син}$	количество средств РЭБ Красных и Синих*	ед.

Примечания:

1. Модель предполагает, что вся совокупность средств РЭБ стороны достигает эффективности, выражаемой в вероятности эффективного ведения РЭБ по подсистеме управления, связи, разведки и ОП противника.
2. Методику расчета уровня информатизации см. в [7].

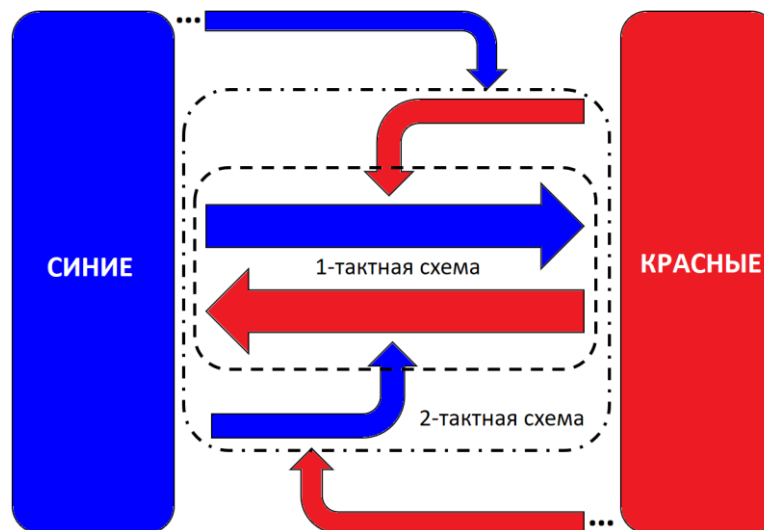


Рис. 4. Схема учета взаимного влияния сторон в боевом эпизоде

Допустим, что в боевом эпизоде подсистемы разведки, управления, связи и РЭБ (в части реализации кибератак и поражения ЭМИ) являются скрытными, и средства ОП сторон поражают только друг друга. Такое допущение характерно для практики и поэтому часто используется в математических моделях боевых действий (см., например, [11]).

Управление воинским формированием может производиться как в сетевом режиме, когда средства подсистемы ОП получают целеуказания из подсистемы разведки, минуя подсистему управления, так и в классическом режиме, когда целеуказания приходят в подсистему ОП из подсистемы разведки через подсистему управления. После уничтожения средства ОП огонь автоматически переводится на еще не уничтоженные средства ОП противника. При применении РЭП противостоящая сторона обнаруживает местоположение источника помех своей подсистемой разведки. Целераспределение средств ОП осуществляется в одном из двух режимов:

- средства ОП приоритетнее средств РЭБ (то есть средства РЭБ не являются целью для средств ОП);
- средства РЭБ имеют приоритет перед средствами ОП.

Рассмотрим далее аналитические выражения для каждого режима.

Режим целераспределения «средства ОП приоритетнее средств РЭБ»

Это режим, когда средства ОП, как цели, имеют приоритет перед средствами РЭБ. Несмотря на то, что техника РЭБ существенно влияет на ход и исход боя, такой режим целераспределения может являться рациональным, когда это оправдано реалиями боевой обстановки, а также в случае, когда применяются средства реализации КА и/или поражения ЭМИ, определить местоположение которых крайне затруднительно. Кроме того, аналитические выражения такого режима целераспределения, как будет показано далее, являются необходимыми для проведения вычислений в режиме целераспределения «средства РЭБ имеют приоритет перед средствами ОП».

Время уничтожения Красных в режиме «средства ОП приоритетнее средств РЭБ» вычисляется с использованием следующей формулы:

$$T_{кр}^{ОП} = \begin{cases} T_{1бп_кр} + \Omega, & \text{если наступают Красные;} \\ \Omega, & \text{если наступают Синие,} \end{cases}$$

при $\Omega = \frac{N_{кр} + N_{им_кр}}{N_{син}} K_{1син} T_{бц_син}$, (6)

где: $K_{1син}$ – количество боеприпасов, необходимое средству ОП Синих для уничтожения одного средства ОП Красных [шт.]; $T_{бц_син}$ – время боевого цикла Синих [с]; Ω – вспомогательный вычисляемый показатель [с].

Формула (6) предполагает одинаковую тактику применения средств ОП сторон «все на одного» с последовательным переводом огня на менее приоритетные цели, что может считаться на практике рациональным [12, 13].

Значение показателя количества боеприпасов, необходимого средству ОП Синих для уничтожения одного средства ОП Красных, $K_{1син}$ для весьма оправданного практикой допущения, когда боеприпасы не расходуются на цель без изначально прогнозируемой гарантии ее поражения, вычисляется с использованием следующей уточненной для рассматриваемого контекста классической формулы из теории боевой эффективности (см., например, [14]):

$$K_{1син} = \begin{cases} \Theta, & \text{если } \Theta \geq K_{бп_син}; \\ \infty & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

при $\Theta = \left\lceil \frac{\ln(1 - P_{гар})}{\ln(1 - (P_{1бп_син} L_{РЭБ_ОП_кр})(P_{р_син} L_{РЭБ_р_кр})U)} \right\rceil$, (7)

где: Θ – вспомогательный вычисляемый показатель [шт.]; $\lceil \dots \rceil$ – операция округления до ближайшего целого в большую сторону; $L_{РЭБ_ОП_кр}$ и $L_{РЭБ_р_кр}$ – показатели снижения вероятности выполнения процессов в подсистемах ОП и разведки Красных в условиях ведения РЭБ Синими [безразмерные величины]. Значения этих показателей предлагается рассчитывать с использованием следующего выражения:

$$L_{РЭБ_*_кр} = \begin{cases} 1 - P_{РЭБ_*_син} \Delta^*_{кр}, & \text{если подсистема * Красных} \\ & \text{(то есть ОП или разведки)} \\ & \text{подвержена РЭБ;} \\ 1 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (8)$$

Значение показателя $T_{бц_син}$ в формуле (6) предлагается вычислять с использованием следующего выражения (см. рис. 5):

$$T_{бц_син} = \begin{cases} T_{1бп_син}, & \text{если позиции статичны (вариант А);} \\ T_{р_син} K_{РЭБ_р_син} + T_{св_син} K_{РЭБ_св_син} + \\ + (T_{оп_син} + T_{1бп_син}) K_{РЭБ_оп_син} & \text{в противном случае,} \\ & \text{если у Синих есть сетцентрическое} \\ & \text{управление (вариант Б);} \\ T_{р_син} K_{РЭБ_р_син} + T_{упр_син} K_{РЭБ_упр_син} + \\ + (T_{оп_син} + T_{1бп_син}) K_{РЭБ_оп_син} + \\ + 2T_{св_син} K_{РЭБ_св_син} & \text{в противном случае,} \\ & \text{если у Синих нет сетцентрического} \\ & \text{управления (вариант В).} \end{cases} \quad (9)$$

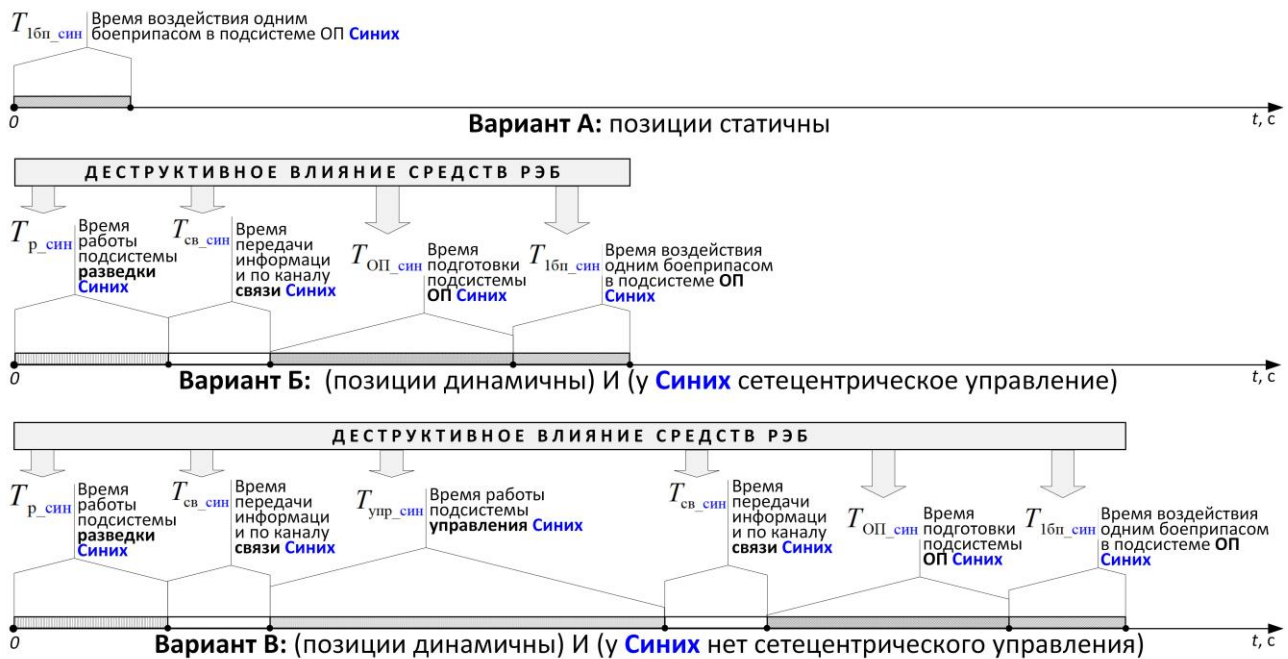


Рис. 5. Диаграмма боевого цикла Синих $T_{бц_син}$

Показатели $K_{РЭБ_р_син}$, $K_{РЭБ_оп_син}$ и $K_{РЭБ_упр_син}$ в формуле (9) характеризуют влияние РЭБ Красных на время выполнения операций, соответственно, в подсистеме разведки, ОП и управления Синих. Учитывая вероятностный характер РЭБ и обязательность выполнения операций в подсистемах, эти показатели характеризуют количество попыток выполнить одну операцию в условиях таких воздействий. Для оценки значений этих показателей предлагается применять известную в теории вероятностей формулу определения гарантированного количества независимых повторений одного эксперимента в наиболее пессимистичном случае, когда успешное выполнение операции осуществляется при ее последнем повторении:

$$K_{РЭБ_*_син} = \begin{cases} \frac{1}{1 - P_{РЭБ_*_кр} \Delta_{*_син}}, & \text{если в отношении подсистемы *} \\ & \text{Синих (т.е. разведки, управления, ОП)} \\ & \text{Красными ведется РЭБ;} \\ 1 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (10)$$

Оценивать значение $K_{РЭБ_св_син}$ предлагается по следующей классической для теории боевой эффективности формуле:

$$K_{РЭБ_св_син} = \begin{cases} \frac{\ln P_{св_син}}{\ln(1 - P_{РЭБ_св_кр} \Delta_{св_син})}, & \text{если в отношении подсистемы} \\ & \text{связи Синих Красными ведется РЭБ;} \\ 1 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (11)$$

Время уничтожения Синих в режиме целераспределения «средства ОП приоритетнее средств РЭБ», вычисляется по формулам (6)-(11), в которых инвертированы индексы сторон конфликта.

Таким образом, в сравнении с моделью, изложенной в работах [7-9], в режиме целераспределения «средства ОП приоритетнее средств РЭБ» в насто-

ящей модели впервые вводятся показатели $L_{РЭБ_ОП_кр}$, $L_{РЭБ_р_кр}$, $K_{РЭБ_р_син}$, $K_{РЭБ_ОП_син}$, $K_{РЭБ_упр_син}$ и $K_{РЭБ_св_син}$ для оценки времени уничтожения Красных, которые являются «симметричными» для таких же показателей (но с инвертированными индексами) для оценки времени уничтожения Синих, а также показатели уровня информатизации каждой из сторон $\Delta^*_{кр}$ и $\Delta^*_{син}$ являются уникальными.

Режим целераспределения «средства РЭБ приоритетнее средств ОП»

Это режим целераспределения средств ОП, когда при планировании их применения средства РЭБ имеют приоритет перед средствами ОП. Такой режим целераспределения имеет место в том случае, когда РЭБ реализуется средством РЭП. Это средство в процессе боевой работы не обладает характеристиками скрытности (незаметности) и бескомпроматности (недоказуемости). Этими характеристиками могут обладать только средства РЭБ, реализующие КА и поражение ЭМИ [7]. По этой причине при воспроизведении боя с использованием средств КА и поражения ЭМИ применимы аналитические выражения, приведенные выше для режима целераспределения «средства ОП приоритетнее средств РЭБ».

В режиме целераспределения «средства РЭБ приоритетнее средств ОП» подсистема ОП Синих до обнаружения средства РЭБ Красных воздействует на их подсистему ОП, после обнаружения средства РЭБ Красных уничтожает его (в целом с начала боевого эпизода этот процесс выполняется в течение времени $T_{ун_РЭБ_кр}$) и продолжает воздействовать на подсистему ОП противника, уничтожая ее в течение времени $T_{ост_кр}$. Соответствующий временной отрезок до уничтожения подсистемы ОП Красных отображен на рис. 6 (временные пропорции на рисунке не соблюдаются).

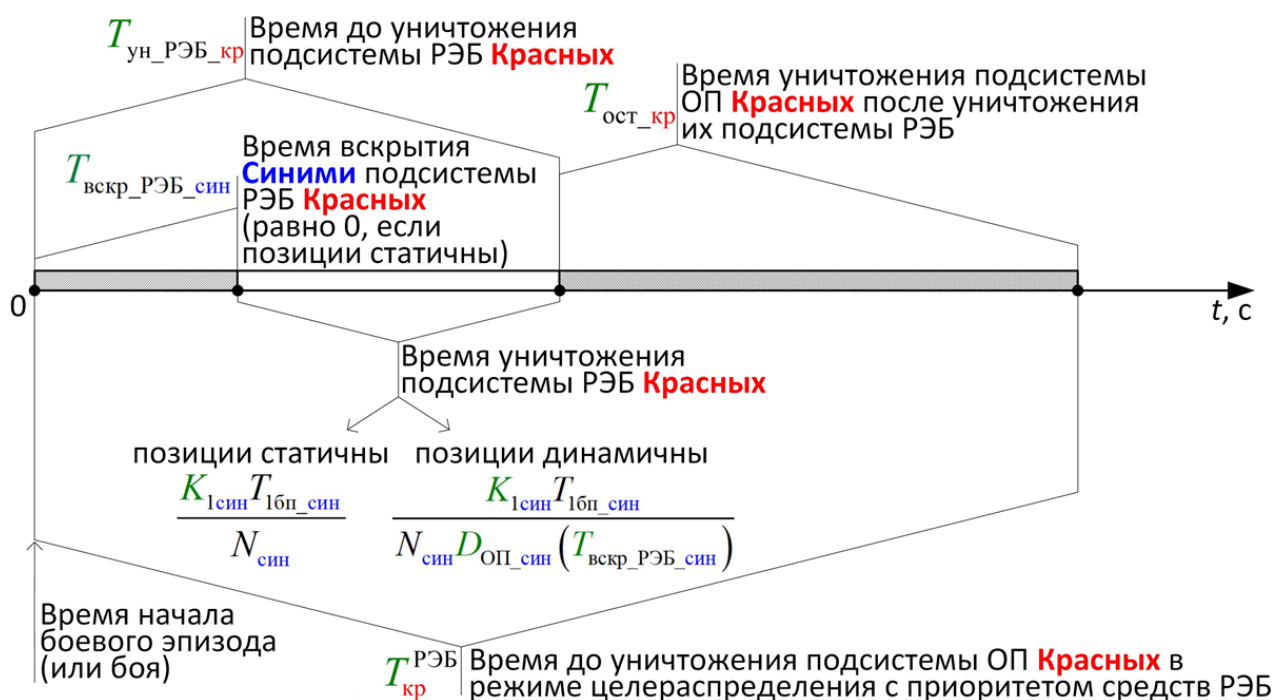


Рис. 6. Процесс применения Синими подсистемы ОП в режиме целераспределения «средства РЭБ приоритетнее средств ОП»

То есть время до уничтожения подсистемы ОП Красных в режиме «средства РЭБ приоритетнее средств ОП» вычисляется по следующей формуле:

$$T_{кр}^{РЭБ} = T_{ун_РЭБ_кр} + T_{ост_кр}, \quad (12)$$

где: $T_{ун_РЭБ_кр}$ – время до уничтожения подсистемы РЭБ Красных; $T_{ост_кр}$ – время уничтожения Синими оставшейся доли подсистемы ОП Красных после уничтожения их подсистемы РЭБ, то есть уже без ее влияния.

Время до уничтожения подсистемы РЭБ Красных $T_{ун_РЭБ_кр}$ при условии одновременного начала ведения РЭБ и ОП (или почти одновременного с некоторым запаздыванием РЭБ, что часто практикуется), вычисляется следующим образом:

$$T_{ун_РЭБ_кр} = \begin{cases} T_{вскр_РЭБ_син} + \frac{N_{РЭБ_син} K_{1син} T_{16п_син}}{N_{ОП_син} D_{ОП_син} (T_{вскр_РЭБ_син})}, & \text{если} \\ & \text{позиции динамичны;} \\ \frac{N_{РЭБ_син} K_{1син} T_{16п_син}}{N_{ОП_син}} & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (13)$$

где: $T_{вскр_РЭБ_син}$ – время вскрытия Синими местонахождения подсистемы РЭБ Красных; $D_{ОП_син} (T_{вскр_РЭБ_син})$ – доля подсистемы ОП Синих, остающаяся работоспособной к моменту $T_{вскр_РЭБ_син}$ в условиях ведения Красными огневого поражения.

Значение показателя $T_{вскр_РЭБ_син}$ в формуле (13) предлагается вычислять следующим образом (см., соответственно, варианты Б и В на рис. 5):

$$T_{вскр_РЭБ_син} = \begin{cases} T_{р_син} K_{РЭБ_р_син} + T_{св_син} K_{РЭБ_св_син} + \\ + (T_{ОП_син} + T_{16п_син}) K_{РЭБ_ОП_син}, & \text{если у Синих} \\ & \text{сетевое управление;} \\ T_{р_син} K_{РЭБ_р_син} + T_{упр_син} K_{РЭБ_упр_син} + \\ + 2T_{св_син} K_{РЭБ_св_син} + (T_{ОП_син} + T_{16п_син}) K_{РЭБ_ОП_син}, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (14)$$

Показатель $D_{ОП_син} (T_{вскр_РЭБ_син})$ в формуле (13) – это доля подсистемы ОП Синих, которая осталась не уничтоженной Красными на момент времени $T_{вскр_РЭБ_син}$. Для вычисления значения этого показателя полагается, что вычисления аналитических выражений для режима целераспределения «средства ОП приоритетнее средств РЭБ» выполнено. Значение этого показателя с учетом вышеизложенного следствия № 2 из теоремы о соотношении боевых потенциалов и того факта, что на момент $T_{вскр_РЭБ_син}$ средства ОП применялись в режиме «средства ОП приоритетнее средств РЭБ», предлагается вычислять с использованием следующей формулы:

$$D_{ОП_син} (T_{вскр_РЭБ_син}) = 1 - \frac{T_{вскр_РЭБ_син}}{T_{ун_ОП_кр}}. \quad (15)$$

Рассмотрим теперь аналитические выражения для оценки значения показателя времени уничтожения Синими оставшейся доли подсистемы ОП Красных после уничтожения их подсистемы РЭБ $T_{ост_кр}$ в выражении (12).

Зная значение $D_{\text{ОП_син}}(T_{\text{вскр_РЭБ_син}})$, количество средств ОП Синих, оставшихся после уничтожения подсистемы РЭБ Красных, равно:

$$N_{\text{ост_ОП_син}} = \left\lfloor D_{\text{ОП_син}}(T_{\text{вскр_РЭБ_син}}) \cdot N_{\text{ОП_син}} \right\rfloor, \quad (16)$$

где $\lfloor \dots \rfloor$ – операция округления до ближайшего целого в меньшую сторону.

С учетом этого значение времени уничтожения Синими оставшейся доли подсистемы ОП Красных после уничтожения их подсистемы РЭБ $T_{\text{ост_кр}}$ вычисляется с использованием следующей формулы:

$$T_{\text{ост_кр}} = \begin{cases} T_{1\text{бп_кр}} + \Omega, & \text{если наступают Красные;} \\ \Omega, & \text{если наступают Синие,} \end{cases}$$

$$\text{при } \Omega = \frac{(N_{\text{кр}} + N_{\text{им_кр}}) \cdot D_{\text{ОП_кр}}}{N_{\text{ост_ОП_син}}} K_{1\text{син}} T_{\text{бц_син}}, \quad (17)$$

где: $D_{\text{ОП_кр}}$ – доля подсистемы ОП Красных, которая осталась не уничтоженной Синими на момент времени $T_{\text{вскр_РЭБ_син}}$; значения показателей $K_{1\text{син}}$ и $T_{\text{бц_син}}$ вычисляются с использованием формул (7) и (9), соответственно.

Соотношение процессов взаимного влияния Синих и Красных в режиме целераспределения «средства РЭБ приоритетнее средств ОП» показано на рис. 7.

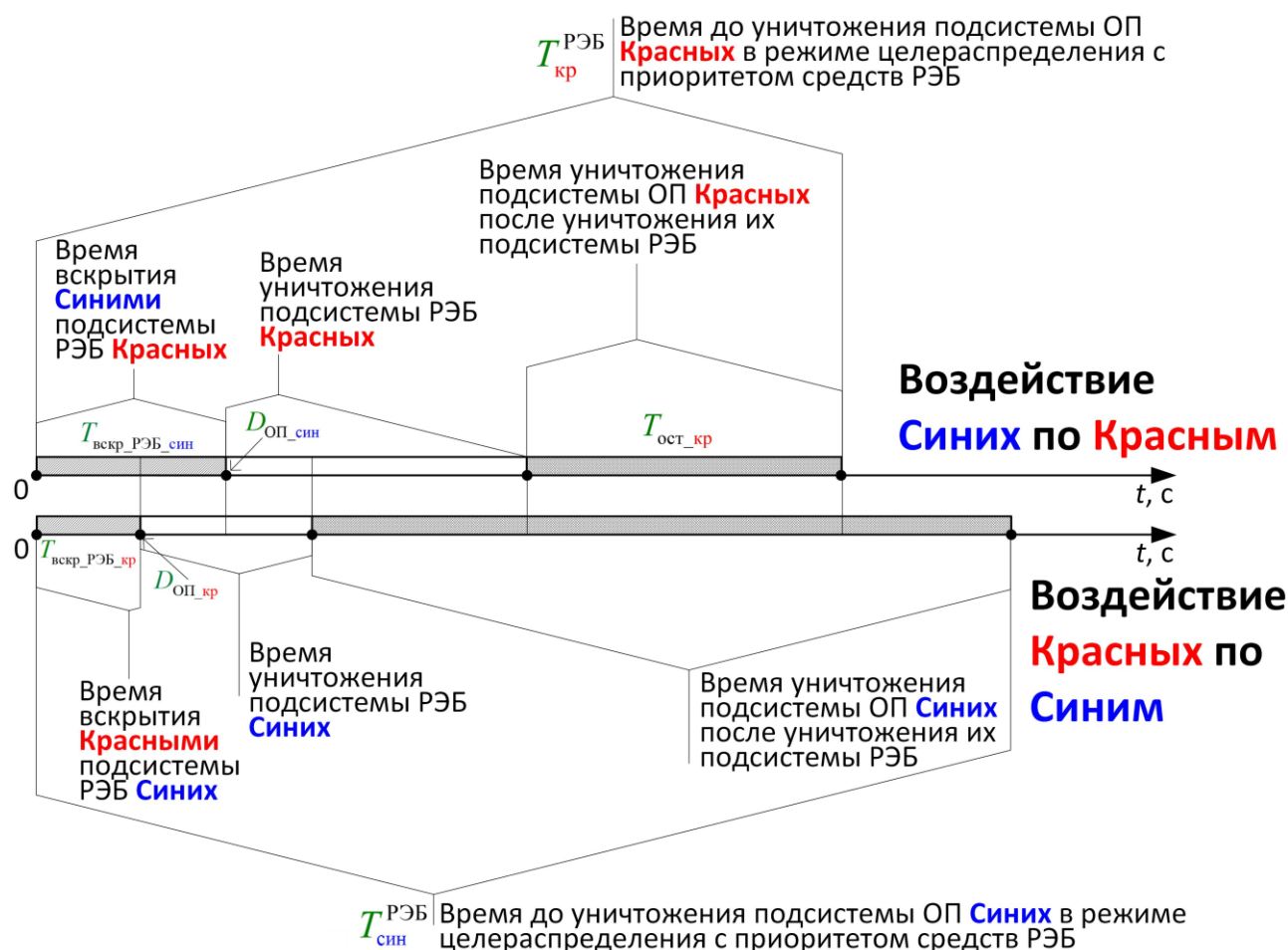


Рис. 7. Соотношение процессов взаимного влияния Синих и Красных в режиме целераспределения «средства РЭБ приоритетнее средств ОП»

Значение показателя $D_{\text{ОП_кр}}(T_{\text{вскр_РЭБ_кр}})$, то есть доли подсистемы ОП Красных, которая осталась не уничтоженной Синими на момент времени $T_{\text{вскр_РЭБ_кр}}$, по аналогии с выражением (15) для вычисления значения показателя $D_{\text{ОП_син}}(T_{\text{вскр_РЭБ_син}})$ предлагается вычислять с использованием выражения:

$$D_{\text{ОП_кр}}(T_{\text{вскр_РЭБ_кр}}) = 1 - \frac{T_{\text{вскр_РЭБ_кр}}}{T_{\text{син}}^{\text{ОП}}}, \quad (18)$$

где: $T_{\text{син}}^{\text{ОП}}$ – время уничтожения Синих в режиме целераспределения «средства ОП приоритетнее средств РЭБ», вычисляемое по формулам (6)-(11), в которых инвертированы индексы сторон конфликта; $T_{\text{вскр_РЭБ_кр}}$ – время вскрытия Красными местонахождения подсистемы РЭБ Синих, вычисленная с использованием выражения (14), в котором инвертированы индексы сторон конфликта.

Исходные параметры предложенной аналитической модели боевого эпизода могут детализироваться (например, вводиться несколько типов средств, входящих в состав каждой подсистемы, учитываться особенности работы средств каждого типа по различным типам целей). Общности модели это не нарушит, поскольку в предлагаемом подходе к моделированию боевого эпизода важна не численность сторон, а время, которое необходимо сторонам для уничтожения противника. При перемещении элементов боевых порядков в трехмерном пространстве в рамках заданного сценария боя время до уничтожения этих элементов вычисляется в отдельных боевых эпизодах для остаточной после предыдущего эпизода численности воинского формирования с учетом тактико-технических характеристик средств, входящих в его подсистемы.

Предлагаемая модель реализована в программе для ЭВМ [15].

Направления дальнейших исследований

Следующая статья авторов будет посвящена практике применения предложенной модели. Направления дальнейших исследований, использующих в качестве теоретического базиса предложенную усовершенствованную эталонную модель боевого эпизода, по мнению авторов должны быть связаны:

- с широкомасштабной верификацией этой модели на исходных данных и результатах современных боевых ситуаций. Тем более, что верификация предыдущей версии модели показала весьма значимые результаты;
- разработкой адекватных методик оценки значений показателей, используемых в качестве входных данных модели;
- теоретическим обобщением результатов применения модели в интересах получения простых и универсальных аналитических зависимостей, характеризующих закономерности современного боя.

Спорным является направление детализации предложенной модели боевого эпизода. С одной стороны, предложенная модель изначально задумывалась в качестве эталонной для верификации более сложной модели боевого эпизода, которая имеет детализацию до людей, отдельных средств и устройств. С другой стороны, такое направление исследований может рассматриваться в качестве рационального применительно к конфликтам низкой интенсивности с применением небольшой номенклатуры средств вооруженной борьбы.

Заключение

Таким образом, с использованием геометрического метода доказана теорема о соотношении боевых потенциалов воинских формирований в боевом эпизоде и с использованием теории вероятностей и логико-алгебраических выражений разработана аналитическая модель боевого эпизода с двусторонним использованием огневого поражения, разведки, связи, управления, имитации обстановки и радиоэлектронной борьбы. Новизна полученного результата состоит в воспроизведении при моделировании современного боя влияния техники радиоэлектронной борьбы на временные и вероятностные характеристики функционирования подсистем разведки, связи, управления и огневого поражения при их совместном применении в рамках боевых циклов каждой из противоборствующих сторон. Это достигается за счет введения исходных показателей уровня информатизации каждой подсистемы каждой стороны и вероятности эффективного ведения радиоэлектронной борьбы каждой стороной по каждой подсистеме противника, а также промежуточных показателей снижения вероятности выполнения процессов в подсистемах огневого поражения и разведки второй стороны в условиях ведения радиоэлектронной борьбы противником, влияния радиоэлектронной борьбы второй стороны на время выполнения операций в подсистемах разведки, огневого поражения и управления противника, соответственно. Решение можно использовать при разработке перспективных систем поддержки принятия решения тактического звена.

Литература

1. Tolk A. Engineering principles of combat modeling and distributed simulation. – New Jersey: John Wiley & Sons Publ., 2012. – 909 p.
2. Митюков Н. В. Имитационное моделирование в военной истории. – М.: ЛЕНАНД, 2018. – 280 с.
3. Дульнев П. А., Колесниченко А. П., Котов А. В. Системный анализ общевойскового боя. – М.: Граница, 2018. – 271 с.
4. Авербух Ю. В., Афонин И. Е., Васин А. А., Галяев А. А., Дащенко А. Ю., Косарев А. Е., Макаренко С. И., Новиков Д. А., Ромашев Ю. С., Сидоренко А. А., Цыганов Н. И., Чернов И. В., Шумов В. В., Якушенко Е. И. Модели военных, боевых и специальных действий. – М.: ЛЕНАНД, 2025. – 528 с.
5. Макаренко С. И. Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба в сетевых войнах начала XXI века. – СПб.: Научные технологии, 2017. – 546 с.
6. Макаренко С. И., Иванов М. С. Сетевая война – принципы, технологии, примеры и перспективы. – СПб.: Научные технологии, 2018. – 898 с.
7. Бойко А. А. Киберзащита автоматизированных систем воинских формирований. – СПб.: Научные технологии, 2021. – 300 с.

8. Бойко А. А. Боевая эффективность кибератак: аналитическое моделирование современного боя // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 4. С. 101–133. doi: 10.24411/2410-9916-2020-10404.

9. Бойко А. А. Боевая эффективность кибератак: практические аспекты // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 4. С. 134–162. doi: 10.24411/2410-9916-2020-10405.

10. Буравлев А. И., Цырендоржиев С. Р., Брезгин В. С. Основы методологического подхода к оценке боевых потенциалов образцов ВВТ и воинских формирований // Вооружение и экономика. 2009. № 3. С. 4–12.

11. Прохоров Д. В. Влияние эффективности и живучести подразделения радиоэлектронной борьбы на успех боя соединения Сухопутных войск // Военная Мысль. 2020. № 3. С. 96–102.

12. Буравлев А. И., Тимофеев М. В. Анализ динамики противоборства однородных группировок при различных стратегиях огневых воздействий // Вооружение и экономика. 2011. № 3. С. 17–22.

13. Черноскутов А. И., Ситкевич А. В., Тришкин В. С. Рациональный способ уничтожения разнородных группировок // Военная Мысль. 2018. № 1. С. 63–67.

14. Арбузов И. В., Болховитинов О. В., Волочаев О. В., Вольнов И. И., Гостев А. В., Мышкин Л. В., Хабиров Р. Н., Шеховцов В. Л. Боевые авиационные комплексы и их эффективность. – М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 2008. – 224 с.

15. Бойко А. А., Овчинников К. Е., Майхуб Х. И. Программа аналитического моделирования антагонистического конфликта организационно-технических систем с двусторонним противодействием циклам управления // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2025613390. 2025.

References

1. Tolk A. *Engineering principles of combat modeling and distributed simulation*. New Jersey: John Wiley & Sons Publ., 2012. 909 p.

2. Mitiukov N. V. *Imitatsionnoe modelirovanie v voennoi istorii* [Simulation in Military History]. Moscow, LENAND Publ., 2018. 280 p. (in Russian).

3. Dul'nev P. A., Kolesnichenko A. P., Kotov A. V. *Sistemnyj analiz obshhevojskovogo boja* [System Analysis of Combined Arms Combat]. Moscow, Granica Publ., 2018. 271 p. (in Russian).

4. Averbuh Ju. V., Afonin I. E., Vasin A. A., Galjaev A. A., Dasshenko A. Ju., Kosarev A. E., Makarenko S. I., Novikov D. A., Romashev Ju. S., Sidorenko A. A., Cyganov N. I., Chernov I. V., Shumov V. V., Jakushenko E. I. *Modeli voennyh, boevykh i special'nykh dejstvij* [Models of Military, Combat and Special Operations]. Moscow, LENAND Publ., 2025. 528 p. (in Russian).

5. Makarenko S. I. *Informacionnoe protivoborstvo i radioelektronnaja bor'ba v setecentricheskikh vojnakh nachala XXI veka* [Information Warfare and Electronic

Warfare in the Network-centric Wars of the Early 21st Century]. St. Petersburg, Naukoemkie Tekhnologii Publ., 2017. 546 p. (in Russian).

6. Makarenko S. I., Ivanov M. S. *Setetsentricheskaia Voina. Printsipy, Tekhnologii, Primery i Perspektivy* [Network-centric War - Principles, Technologies, Examples and Prospects]. St. Petersburg, Naukoemkie Tekhnologii Publ., 2018. 898 p. (in Russian).

7. Boyko A. A. *Kiberzashchita avtomatizirovannikh sistem voinskikh formirovaniy* [Cyberprotection of Military Formations Automated Systems]. Saint Petersburg, Naukoemkie tekhnologii Publ., 2021. 300 p. (in Russian).

8. Boyko A. A. Combat Effectiveness of Cyber-attacks: Analytical Modeling of Modern Warfare. *Systems of Control, Communication and Security*, 2020, no. 4, pp. 101–133. doi: 10.24411/2410-9916-2020-10404 (in Russian).

9. Boyko A. A. Combat Effectiveness of Cyber-attacks: Practical Aspects. *Systems of Control, Communication and Security*, 2020, no. 4, pp. 134–162. doi: 10.24411/2410-9916-2020-10405 (in Russian).

10. Buravlev A. I., Cyrendorzhiev S. R., Brezgin V. S. *Osnovy metodologicheskogo podhoda k ocenke boevykh potencialov obrazcov VVT i voinskih formirovaniy* [Bases of the Methodological Approach to an Estimation of Fighting Potentials of Samples of Arms and the Military Technics and Military Formations]. *Armament and Economics*, 2009, no. 3(7), pp. 4–12 (in Russian).

11. Prohorov D. V. *Vliyanie jeffektivnosti i zhivuchesti podrazdeleniya radiojel'ektronnoj bor'by na uspeh boya soedineniya Suhoputnykh voysk* [How the Efficiency and Survivability of Electronic Warfare Units Affect the Fighting Success of Ground Force Units]. *Military Thought*, 2020, no. 3, pp. 96–102 (in Russian).

12. Buravlev A. I., Timofeev M. V. *Analiz dinamiki protivoborstva odnorodnykh gruppirovok pri razlichnykh strategiyah ognevyykh vozdeystviy* [The Analysis of Dynamics of Confrontation Homogeneous Groups with Different Strategies of Fire Impact]. *Armament and Economy*, 2011, no. 3 (15), pp. 17–22 (in Russian).

13. Chernskutov A. I., Sitkevich A. V., Trishkin V. S. *Ratsional'nyi Sposob Unichtozheniia Raznorodnykh Gruppirovok* [Rational Way to Destroy Dissimilar Groups]. *Military Thought*, 2018, no. 1, pp. 63–67 (in Russian).

14. Arbuzov I. V., Bolhovitinov O. V., Volochaev O. V., Vol'nov I. I., Gostev A. V., Myshkin L. V., Habirov R. N., Shekhovcov V. L. *Boevye aviacionnye komplekсы i ih effektivnost'* [Combat Aircraft Systems and their Effectiveness]. Moscow, Zhukovsky Air Force Engineering Academy Publ., 2008. 224 p. (in Russian).

15. Boyko A. A., Ovchinnikov K. E., Majhoub H. I. *Programma analiticheskogo modelirovaniya antagonisticheskogo konflikta organizacionno-tehnicheskikh sistem s dvustoronnim protivodeystviem ciklam upravleniya* [Analytical Modeling Program for the Antagonistic Conflict of Organizational and Technical Systems with Two-way Counteraction to Management Cycles]. The Certificate on Official Registration of the Computer Program in Russia. No. 2025613390, 2025. (in Russian).

Статья поступила 17 апреля 2025 г.

Информация об авторах

Бойко Алексей Александрович – доктор технических наук, доцент. Преподаватель. Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж). Область научных интересов: защита информации, оценка эффективности сложных систем. E-mail: albo@list.ru

Майхуб Халил Исса – адъюнкт. Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж). Область научных интересов: оценка эффективности сложных систем. E-mail: khalilm22393@gmail.com

Овчинников Кирилл Евгеньевич – курсант. Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж). Область научных интересов: оценка эффективности сложных систем. E-mail: okirill868@gmail.com

Адрес: 394064, Россия, г. Воронеж, ул. Ст. Большевиков, д. 54А.

Combat Episode Analytical Model

A. A. Boyko, H. I. Maihoub, K. E. Ovchinnikov

Problem Statement. *The article continues the cycle of works devoted to the express assessment of the ratio of the combat potentials of the parties in modern combat. Adequate and quick solutions in such a battle should be based on the application of a combat model that takes into account the entire known set of types and objects of impact and protection from them. Highly detailed simulation models of combat are widely known, which require significant time and computing resources. But they are focused on application for research and educational purposes. A numerical-analytical model of a combat episode is also known, reproducing in the form of a single system the processes of fire damage, reconnaissance, communications, control and simulation of the situation in combat cycles of opposing military formations, when their elements of battle formations are stationary and influence each other with constant intensity. This model is the basic one for the combat episode method, in which combat is represented as a tree graph, the branches of which are multi-ranked sequences of combat episodes. However, only one of its sides includes an electronic warfare subsystem that implements electronic suppression, electromagnetic radiation damage, and cyber attacks on information in its sources, transmission, and consumers. This significantly limits the applicability of the model. In addition, the use of the numerical method leads to an undesirable increase in computational complexity when making calculations for a tree graph. Aim of the paper: increasing the efficiency of simulation of a combat episode due to the abandonment of the numerical method and its adequacy due to the reproduction of radio-electronic effects in the process of bilateral counteraction to combat cycles. Used Methods: probability theory, logic-algebraic expressions. Novelty. It consists in taking into account, when modeling modern combat, the influence of electronic warfare technology on the temporal and probabilistic characteristics of the functioning of intelligence, communications, control and fire damage subsystems when used together within the combat cycles of each of the warring parties. Result. An analytical model of a combat episode with the two-way use of fire damage, reconnaissance, communications, control, situation simulation and*

*electronic warfare has been developed. **Practical relevance.** The solution can be used in the development of promising tactical decision support systems.*

Keywords: *analytical model, combat episode, combat potential, military formation, combat cycle, electronic warfare, intelligence, control, communications, fire damage.*

Information about Authors

Aleksey Aleksandrovich Boyko – Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor. Lecturer. Zhukovsky and Gagarin Military Aviation Academy. Field of research: methods and systems of information protection, methods of assessing the effectiveness of complex systems. E-mail: albo@list.ru

Khalil Issa Maihoub – Postgraduate. Zhukovsky and Gagarin Military Aviation Academy. Field of research: methods of assessing the effectiveness of complex systems. E-mail: khalilm22393@gmail.com

Kirill Evgenevich Ovchinnikov – Applicant. Zhukovsky and Gagarin Military Aviation Academy. Field of research: methods of assessing the effectiveness of complex systems. E-mail: okirill868@gmail.com

Address: Russia, 394064, Voronezh, Old Bolsheviks Street, 54A.