

УДК 519.8

Способ аналитического моделирования боевых действий

Бойко А. А.

Постановка задачи: для поддержки принятия решения командира в современных боевых действиях необходимы аналитические модели, системно учитывающие возможности различных образцов вооружения. Сегодня такие модели не позволяют одновременно учесть взаимное влияние образцов, реализующих воздействие на «материю» и «информацию». **Цель работы:** повышение адекватности оценки соотношения сил разнородных воинских формирований за счет определения эффекта от совместного применения образцов вооружения с функциями разведки, управления, огневого поражения, связи, имитации боевой обстановки, радиоэлектронного подавления, психологического воздействия, радиационного, химического и биологического воздействия, нелетального воздействия, программного воздействия и воздействия мощным электромагнитным излучением. **Используемые методы.** Идея способа состоит в следующем: 1) в разработке для каждого тактического района древовидного графа боя, в котором боевые эпизоды между смежными узловыми точками характеризуются относительно постоянными напряжением сил и интенсивностью работы средств; 2) в нанесении боевой обстановки в тактических районах на электронную карту для каждой узловой точки; 3) в оценке с применением классической модели Осипова-Ланчестера динамики соотношения сил в каждом боевом эпизоде с учетом возможности смены позиций элементов боевых порядков в начале эпизода и статичного их размещения на местности после развертывания на новых позициях; 4) в свертывании каждого графа боя в отрезок между начальной и конечной узловыми точками боевых действий и агрегировании динамики соотношения сил в соседних тактических районах до заданного уровня с учетом иерархической вложенности и возможностей тылового обеспечения. **Новизна:** учет в аналитической модели боевых действий энергетического, телекоммуникационного, когнитивного, ресурсного и психологического факторов, влияющих на соотношение сил противоборствующих воинских формирований; детализация аналитических выражений, описывающих процессы в бою, до полумарковских моделей функционирования информационно-технических средств, в которых плотность распределения вероятности времени переходов зависит от взаимного влияния противоборствующих воинских формирований; учет в каждый момент боевых действий совокупности значений соотношения сил во всех альтернативных эпизодах боя каждого тактического района. **Результат:** разработан способ моделирования боевых действий разнородных воинских формирований, применяющих образцы вооружения, реализующие воздействие на «материю» и «информацию». Способ обеспечивает характерную для аналитических методов общность и высокую скорость получения результатов оценки соотношения сил. Приводятся примеры применения способа, в которых определены интегральные коэффициенты боевой соизмеримости элементов боевых порядков мотострелковых (мотопехотных) рот с дополнительными средствами психологического воздействия и радиоэлектронного подавления, а также соотношения сил этих рот. **Практическая значимость:** способ может найти применение при разработке исследовательских моделей в интересах обоснования состава воинских формирований и характеристик перспективных образцов вооружения, а также при разработке штабных моделей, используемых в системах поддержки принятия решений различного уровня.

Ключевые слова: поддержка принятия решения, модель боя, соотношение сил, боевой эпизод, элемент боевого порядка, образец вооружения, тактический район, воинское формирование.

Библиографическая ссылка на статью:

Бойко А. А. Способ аналитического моделирования боевых действий // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 2. С. 1-27. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10201

Reference for citation:

Boyko A. A. Warfare Analytical Modelling Method. *Systems of Control, Communication and Security*, 2019, no. 2, pp. 1-27. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10201 (in Russian).

Введение

Сегодня в локальных войнах и вооруженных конфликтах применяются образцы вооружения, обладающие как классическими функциями разведки, управления, огневого поражения, связи, радиоэлектронного подавления, психологического воздействия, радиационного, химического и биологического воздействия, имитации обстановки (в том числе радиоэлектронной), так и инновационными функциями воздействия мощным электромагнитным излучением (электромагнитное оружие, оружие направленной энергии, радиочастотное оружие), нелетального и программного (программно-математического) воздействия¹. Однако системно эти функции образцов вооружения в существующих моделях боя не учитываются, что значительно снижает адекватность результатов планирования боевых действий.

Постановка задачи

Известные способы разработки моделей боя условно можно разделить на два класса:

- *класс А* – способы разработки моделей, ориентированных на учет материального аспекта боевой обстановки (в первую очередь на возможности противоборствующих сторон по огневому поражению). Это направление существенно развили в 1915 году Осипов М.П. [1], на год опередивший Ланчерстера Ф.У. [2], и в дальнейшем Абчук В.А. [3], Алексеев О.Г. [4, 5], Анисимов В.Г. [4, 5], Анисимов Е.Г. [4, 5], Борисов В.В. [6], Буравлев А.И. [7, 8], Захаров Л.В. [9], Меркулов С.Н. [10], Мильграм Ю.Г. [11], Митюков Н.В. [12], Новиков Д.А. [13], Поленин В.И. [14], Сосюра О.В. [15], Тараканов К.В. [16], Ткаченко П.Н. [17], Фендриков Н.М. [18], Цыгичко В.Н. [19], Чернокутлов А.И. [20], Чуев Ю.В. [21], Ivancevic V. [22], Kress M. [23], Washburn A. [24] и другие ученые;
- *класс В* – способы разработки моделей, ориентированных на учет информационного аспекта боевой обстановки (в первую очередь на функции разведки, управления, связи, радиоэлектронного подавления и имитации), предложенные, например, в работах Будникова С.А. [25], Вакина С.А. [26], Шустова Л.Н. [26], Владимирова В.И. [27, 28], Лихачева В.П. [28], Шляхина В.М. [28], Донскова Ю.Е. [29], Карпухина В.И. [30], Козирацкого А.Ю. [31], Козирацкого Ю.Л. [32, 33], Крутских П.П. [34], Ложкина К.Ю. [35], Поддубного В.Н. [35], Радзиевского В.Г. [36], Сухорукова Ю.С. [37], Толстых Н.Н. [38], Холуенко Д.В. [39], Чикина М.Г. [40], Adamy D.L. [41] и других ученых. Такие модели получили название моделей информационного конфликта.

При анализе этой классификации становится очевидной потребность в формировании нового класса способов (*класс С*) – способов разработки моде-

¹Другие виды оружия на новых физических принципах (например, геофизическое, генетическое) в статье не рассматриваются ввиду наличия у военных специалистов полярных взглядов на их применение.

лей, ориентированных на системный учет в боевой обстановке «материи» и «информации». Но такие способы на сегодняшний день отсутствуют.

С одной стороны, данная ситуация обусловлена тем, что научные школы, разрабатывающие модели классов *A* и *B*, традиционно развивались обособленно. Превосходство моделей класса *A* всегда считалось неоспоримым, так как исторически они начали развиваться раньше, а результаты их применения с некоторой погрешностью всегда можно было проверить на практике [19]. Ведь если эффектом от применения, например, гаубицы является разрушенное здание или уничтоженная техника, то эффект от применения станции радиопомех не всегда очевиден. Ситуация изменилась только в последние годы, когда во всем мире воинские формирования стали оснащаться радиоэлектронными средствами и средствами вычислительной техники (далее – информационно-техническими средствами, ИТС) до солдата включительно. В таких условиях эффект от сил и средств, ориентированных на информационный аспект боевой обстановки (в первую очередь сил и средств радиоэлектронной борьбы), приобрел существенно большую наглядность.

С другой стороны, препятствие к системному учету в моделях боя «материи» и «информации» заложено в недостаточно глубокой исследованности сущности факторов, влияющих на успех в бою. Существуют три классических фактора успеха в бою [16]: соотношение сил, пространство и время. В моделях боя учет этих факторов представляет наибольший интерес при одновременном изменении каждого из них и при изменении двух с постоянным третьим. Однако одновременное изменение пространства и времени, проявляемое в маневрах и ударах, на практике обычно описывается алгебраическими и геометрическими выражениями [16, 21], в основе которых лежат нормативы, базирующиеся на боевом опыте и объективных возможностях сил и средств по перемещению в различных условиях боевой обстановки. Такое положение дел обусловлено тем, что результаты математического моделирования одновременного изменения пространства и времени, полученные, как правило, на имитационных моделях (см., например, [6, 14]), имеют низкую адекватность, поскольку предугадать поведение противника в реальном бою разнородных воинских формирований уровня роты и выше крайне сложно. Поэтому, учитывая, что зависимость соотношения сил от местоположения элементов боевых порядков противоборствующих воинских формирований без учета времени не представляет значительного интереса для практики, в моделях боя целесообразно анализировать изменение соотношения сил во времени при фиксированных позициях элементов боевых порядков.

При моделировании боя во внимание традиционно принимались четыре субфактора, влияющих на соотношение сил:

- *энергетический*, характеризующий совокупность средств вооруженной борьбы и защиты от них, включая средства боевого обеспечения;
- *ресурсный*, характеризующий тыловое обеспечение;
- *психологический*, характеризующий индивидуальную и коллективную психическую деятельность личного состава;

- *телекоммуникационный*, характеризующий совокупность проводных и беспроводных (в том числе акустических) каналов связи и разведки, образуемых техническими средствами и людьми.

Следует отметить, что появление во второй половине XX века моделей класса *B* связано с осознанием существования телекоммуникационного субфактора. Однако попытки полноценной интеграции моделей классов *A* и *B* к успеху не привели. Этому, например, в области радиоэлектронной борьбы способствует использование таких показателей, как «относительный объем эффективно выполняемых задач» [39]. Подобного рода показатели моделей класса *B*, очевидно, приводят к недостаточно полному пониманию разработчиками моделей класса *A* того, какой именно вклад в соотношение сил дает ресурс средств и личного состава, обеспечивающий выполнение некоторого объема задач.

Проблема концентрации внимания информационного аспекта боевой обстановки только на телекоммуникационном факторе состоит в том, что само по себе отсутствие или наличие каналов связи и разведки еще не обеспечивает полноту картины боя. Для этого нужно уметь анализировать еще и то, что по этим каналам передается, то есть информацию в ее когнитивном (от лат. *cognitio* – узнавать) контексте, опирающемся на смысл (семантику) и ценность (прагматику). Однако телекоммуникационный субфактор рассматривает информацию, как максимум, в синтаксическом контексте.

Данные обстоятельства свидетельствуют о необходимости выделения нового субфактора, влияющего на соотношение сил, – *когнитивного* (см. рис. 1).



Рис. 1. Субфакторы, влияющие на соотношение сил в бою

Когнитивный субфактор характеризует информацию в *боевых циклах* (циклах Джона Бойда, OODA-циклах и пр.), каждый из которых согласно классическим канонам военной науки состоит из четырех этапов [42]: наблюдение, ориентация, решение и действие. Очевидно, что боевой цикл эффективен, если

информационные потоки, создаваемые, обрабатываемые или передаваемые на каждом его этапе останутся неизвестными противнику, не будут искажены и будут успешно получены (переданы) и обработаны. Пользуясь терминологией теории защиты информации [43], в боевых циклах информационные потоки должны сохранить конфиденциальность, целостность и доступность. Эти свойства информации боевых циклов являются «тремя китами» информационной безопасности, которые каждая из противоборствующих сторон стремится нарушить у противника и сохранить у себя. Иные свойства информации (актуальность, полнота и пр.), а также свойства процессов управления (точность, устойчивость, непрерывность, оперативность, скрытность) в вооруженном противоборстве являются производными от этих свойств [44]. Для нарушения конфиденциальности информации используются силы и средства разведки, для нарушения доступности информации – силы и средства огневого поражения, радиоэлектронного подавления, воздействия мощным электромагнитным излучением и программного воздействия, а для нарушения целостности информации – силы и средства имитации боевой (в том числе радиоэлектронной) обстановки и программного воздействия.

Цель работы – повышение адекватности оценки соотношения сил разнородных воинских формирований за счет определения эффекта от совместного применения образцов вооружения с функциями разведки, управления, огневого поражения, связи, имитации обстановки, радиоэлектронного подавления, психологического воздействия, радиационного, химического и биологического воздействия, нелетального воздействия, программного воздействия и воздействия мощным электромагнитным излучением.

Содержание способа

Для системного учета в модели боя указанных субфакторов фактора соотношения сил применим способ, предложенный Д.А. Новиковым [13]. В этом способе вооруженный конфликт представляется в виде совокупности взаимосвязанных моделей, упорядоченных по пяти уровням иерархии: 1) взаимодействие отдельных боевых единиц; 2) «локальное» взаимодействие подразделений; 3) динамика численности; 4) распределение сил и средств во времени; 5) распределение сил и средств в пространстве. Однако, особенностью этого способа, затрудняющими его использование на практике, является ориентация на имитационное моделирование и теорию игр на первом, четвертом и пятом уровнях. *Во-первых*, имитационное моделирование такого сложного процесса, как бой разнородных воинских формирований даже уровня мотострелковой роты, при известном многообразии исходных данных боевой обстановки и практически бесконечным числом вариантов его хода может не обеспечить даже сходимость контролируемых параметров. *Во-вторых*, с применением имитационных моделей обеспечить приемлемую точность результатов анализа боевых действий за приемлемое время при почти всегда на практике ограниченных вычислительных ресурсах крайне трудно. *В-третьих*, основными ограничениями на применение методов теории игр, заложенными в самой их «природе», являются необходимость знания «стратегии» (базовый термин для теории игр) по-

ведения противника, а также тот факт, что правила игр задаются экспертами. Такими же ограничениями обладает и имитационное моделирование, в котором аналогами «стратегии» и правил теории игр является многократно разыгрываемый «сценарий боя». Ведь знание «стратегии» и правил противника, равно как и сценария вооруженного конфликта, всегда считалось главным преимуществом в бою. Как отмечал Сунь-Цзы, «война – это путь обмана», то есть сокрытие реальной и демонстрация ложной «стратегии» (правил, сценария). Поэтому получить с использованием игровых и имитационных моделей адекватные результаты для конкретного боя разнородных воинских формирований в подавляющем большинстве случаев невозможно. Такие модели, по всей видимости, больше подходят для анализа отдельных дуэльных ситуаций.

С учетом изложенного предлагается следующий способ аналитического моделирования боевых действий, включающий четыре этапа.

Этап 1. Разработка древовидного графа боя (слева на рис. 2) для каждого тактического района. Согласно методическому подходу, предложенному С.Н. Меркуловым [10], бой представляют древовидным графом (далее – «дерево» боя), в котором боевые эпизоды между смежными узловыми точками характеризуются относительно постоянными напряжением сил и интенсивностью работы средств. Узловые точки «дерева» боя, кроме начальной, характеризуют моменты времени, в которых ход боя может измениться в нескольких «направлениях», например, соответствующих вариантам маневров (перегруппировки) сил и средств или завершиться по достижении заданного условия.

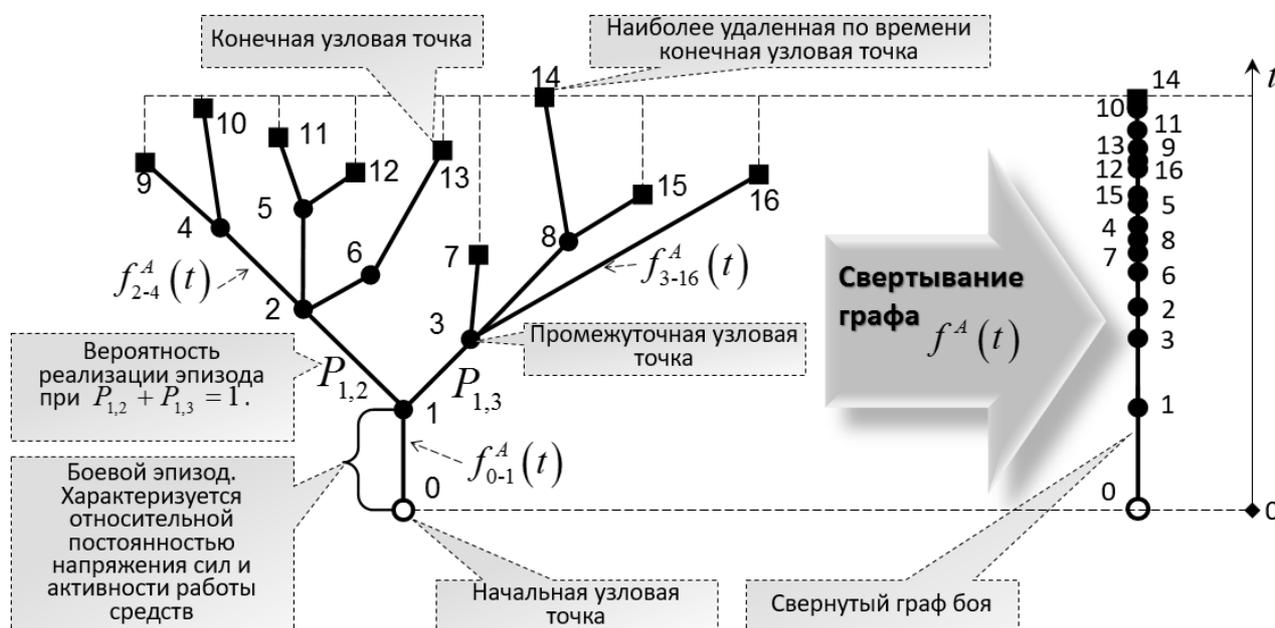


Рис. 2. Древовидный граф боя в тактическом районе (вариант)

Этап 2. Нанесение боевой обстановки на электронную карту. В начале каждого боевого эпизода элементы боевых порядков статично размещают на электронной карте местности (см. рис. 3). Элементы боевых порядков детализируют до людей и образцов вооружения. Образцы вооружения включают отдельные ИТС (в том числе нештатные) и устройства (например, автомобиль,

орудие). В элементах и между ними фиксируются каналы связи, организуемые с использованием ИТС и людей (в том числе вербально и знаками).

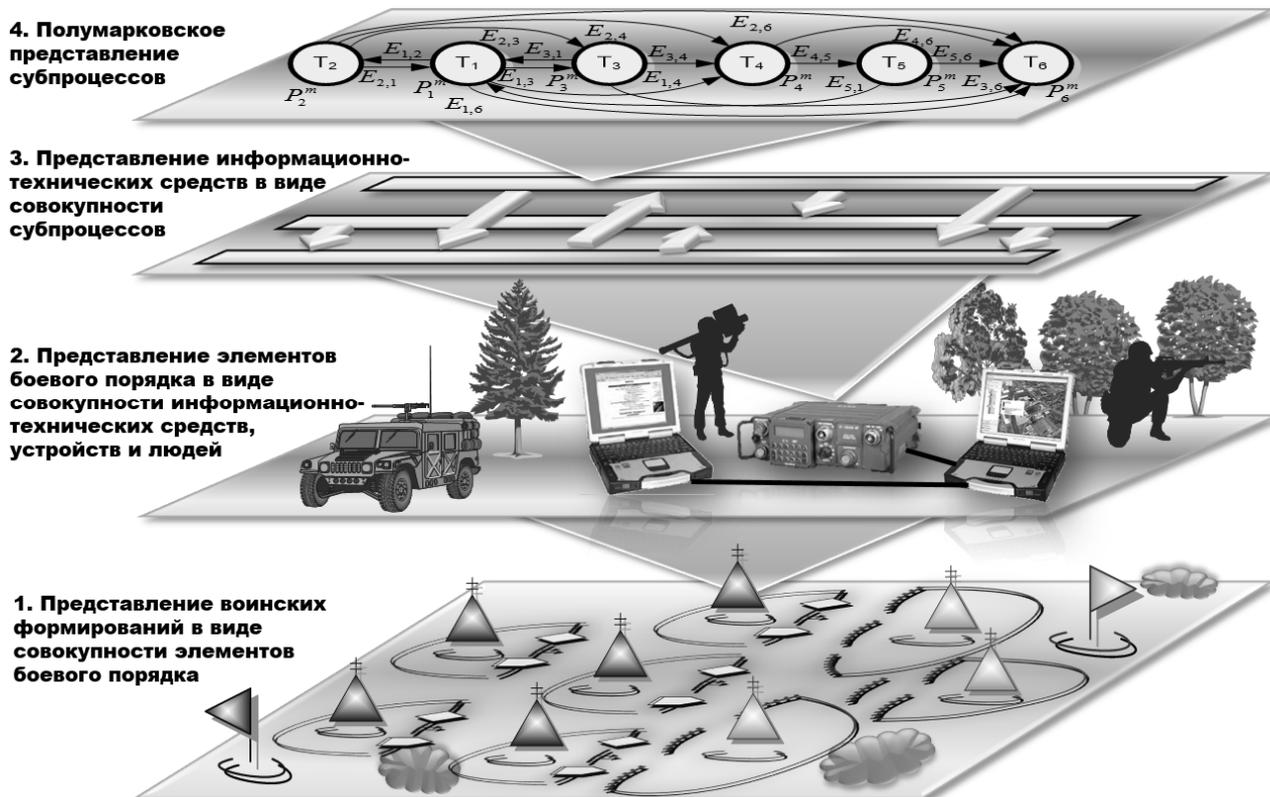


Рис. 3. Детализация боевой обстановки

На электронной карте местности фиксируются возможности устройств и ИТС на основе их ТТХ. Элементы боевых порядков с функциями управления осуществляют свои функции по каналам связи и могут применять для этого ИТС, в том числе нештатные. Средства имитации обстановки также наносятся на электронную карту местности и имитируют функционирование реальных образцов вооружения на различных фонах наблюдения. ИТС представляется как система специфических частных процессов под управлением процессадиспетчера, реализованного с использованием методов теории массового обслуживания, а устройство рассматривается как частный процесс работы техники с позиции ее надежности. Каждый частный процесс представляется в виде дискретно-событийной полумарковской модели, в которой интервалы переходов между состояниями не имеют экспоненциальный характер, а коррелируют с некоторой средней величиной [45].

Дополнительно на карту района боевых действий наносят силы и средства вышестоящих уровней, которые оказывают влияние на силы и средства в этом районе (в том числе спутники) согласно двум правилам (см. рис. 4):

- *правило №1* – если эти силы и средства оказывают влияние на элементы боевых порядков в заданном районе;
- *правило №2* – если эти силы и средства оказывают влияние на элементы, нанесенные на карту согласно правилу №1.

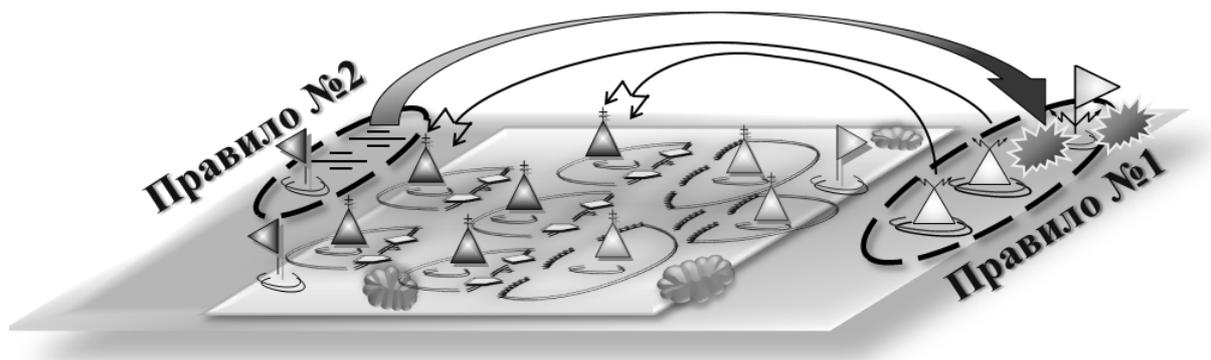


Рис. 4. Правила нанесения на электронную карту вышестоящих сил и средств

Этап 3. Оценивание соотношения сил. По аналогии со способом, предложенным в [13], динамику показателя соотношения сил воинских формирований A и B $f^{A(B)}(t)$ в каждом боевом эпизоде «дерева» боя согласно методу динамики средних предлагается рассчитывать с помощью выражения, выводимого из классического уравнения Осипова-Ланчестера первого рода [4, 46]:

$$f^{A(B)}(t) = \frac{N^{A(B)}(t)}{N^{B(A)}(t)} \sqrt{\frac{K_y^{A(B)}(t)}{K_y^{B(A)}(t)}}, \quad (1)$$

где: $N^{A(B)}(t) \in (0,1]$ и $K_y^{A(B)}(t) \in (0,1]$ – показатели эффективной численности и эффективности управления формирования $A(B)$, соответственно.

В формуле (1) *эффективная численность формирования* – это совокупный удельный вес его элементов с учетом того, что в бою они могут быть разведаны и уничтожены, захвачены в результате диверсии или программного воздействия, выведены из строя электромагнитным излучением, их личный состав подвергается психологическому и нелетальному воздействию, а элементы противника могут подвергаться аналогичному воздействию:

$$\begin{aligned} N^{A(B)}(t) &= \sum_{n=1}^{C^{A(B)}} \left((1 - \psi_n^{A(B)}(t)) \chi_n^{A(B)}(t) W_n^{A(B)} P_{\text{нф}_n}^{A(B)} \right) + \\ &+ \sum_{m=1}^{C^{B(A)}} \left((1 - \psi_m^{B(A)}(t)) (1 - \chi_m^{B(A)}(t)) W_m^{B(A)} P_{\text{нф}_m}^{B(A)} \right), \\ \sum_{n=1}^{C^{A(B)}} W_n^{A(B)} + \sum_{m=1}^{C^{B(A)}} W_m^{B(A)} &= 1, \end{aligned} \quad (2)$$

где: $C^{A(B)}$ – количество элементов боевого порядка формирования $A(B)$; $\chi_n^{A(B)}(t) \in [0,1]$ – устойчивость элемента к диверсии (формула для расчета приведена в [44]); $\psi_n^{A(B)}(t)$ – вероятность уничтожения элемента противником (формула для расчета приведена в [47]); $P_{\text{нф}_n}^{A(B)}$ – вероятность выполнения личным составом элемента неавтоматизированных функций; $W_n^{A(B)}$ – коэффициент боевой соизмеримости элемента, вычисляемый аналитическим методом, суть которого состоит в последовательном вычислении значений показателя соотношения сил без каждого из элементов боевых порядков и вычислении коэф-

фициента боевой соизмеримости каждого элемента по величине ущерба, наносимого соотношению сил исключением этого элемента [47].

Значение показателя $P_{\text{нф}_n}^{A(B)}$ в формуле (2) предлагается рассчитывать как:

$$P_{\text{нф}_n}^{A(B)} = \begin{cases} 1, & \text{если элемент применяется без личного состава;} \\ \prod_{i=1}^3 (1 - \Omega_i) (\alpha K_{\text{оп}_n}^{A(B)} + \beta K_{\text{боп}_n}^{A(B)}) & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

при $\Omega_1 = \begin{cases} u_{\text{НВg}}^{B(A)}(d_n), & \text{если элемент физически доступен} \\ & \text{для } g\text{-го элемента противника с функцией} \\ & \text{нелетального воздействия;} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$

$\Omega_2 = \begin{cases} u_{\text{ПсBz}}^{B(A)}(d_n), & \text{если элемент физически доступен} \\ & \text{для } z\text{-го элемента противника с функцией} \\ & \text{психологического воздействия;} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$

$\Omega_3 = \begin{cases} u_{\text{РХБВb}}^{B(A)}(d_n), & \text{если элемент физически доступен} \\ & \text{для } b\text{-го элемента противника с функцией} \\ & \text{радиационного, химического и} \\ & \text{биологического воздействия;} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (3)$

где: $u_{\text{ПсBz}}^{B(A)}(d_n)$, $u_{\text{НВz}}^{B(A)}(d_n)$ и $u_{\text{РХБВb}}^{B(A)}(d_n)$ – соответственно дальностные характеристики применения g -го, z -го и b -го элемента противника с функциями психологического воздействия, нелетального воздействия, радиационного, химического и биологического воздействия, определяющие вероятность вывода из строя личного состава элемента на расстоянии d ; $K_{\text{оп}_n}^{A(B)} \in (0,1)$ и $K_{\text{боп}_n}^{A(B)} \in (0,1)$ – показатели боевой подготовки и боевого опыта личного состава элемента, соответственно (формулы для расчета см. в [48]); α и β – весовые коэффициенты показателей обученности личного состава, $\alpha + \beta = 1$ (например, в [49] $\alpha = 2/3$; $\beta = 1/3$).

Эффективность управления формирования в формуле (1) зависит от его возможностей по нарушению целостности, доступности и конфиденциальности информационных потоков в боевых циклах противника (в том числе в результате разведывательно-диверсионной деятельности) и защите своих боевых циклов от такого воздействия [44]:

$$K_y^{A(B)}(t) = \gamma_y^{A(B)}(t) \delta_y^{A(B)}(t) \left(\frac{\gamma_{\text{и}}^{A(B)}(t) \delta_{\text{и}}^{A(B)}(t)}{2} + \frac{\gamma_{\text{п}}^{A(B)}(t) \delta_{\text{п}}^{A(B)}(t)}{2} \left(1 - \left(\frac{\kappa_{\text{п}}^{B(A)}(t)}{3} + \frac{\kappa_{\text{и}}^{B(A)}(t)}{3} + \frac{\kappa_{\text{y}}^{B(A)}(t)}{3} \right) \right) \right), \quad (4)$$

где: $\gamma_y^{A(B)}(t) \in [0,1]$, $\gamma_i^{A(B)}(t) \in [0,1]$, $\gamma_p^{A(B)}(t) \in [0,1]$ – показатели целостности информации управляющей сети (совокупность информационных потоков с директивной информацией), исполнительной сети (совокупность информационных потоков с донесениями) и разведывательной сети (совокупность информационных потоков с информацией о противнике) формирования $A(B)$, соответственно; $\delta_y^{A(B)}(t) \in [0,1]$, $\delta_i^{A(B)}(t) \in [0,1]$, $\delta_p^{A(B)}(t) \in [0,1]$ – показатели доступности информации управляющей, исполнительной и разведывательной сетей, соответственно; $\kappa_p^{B(A)}(t) \in [0,1]$, $\kappa_i^{B(A)}(t) \in [0,1]$ и $\kappa_y^{B(A)}(t) \in [0,1]$ – показатели конфиденциальности информации разведывательной, исполнительной и управляющей сетей, соответственно. Формулы для оценки этих показателей приведены в [44].

Взаимное влияние образцов вооружения формирований учитывается на уровне времен переходов полумарковских процессов функционирования устройств, и ИТС, исходя из местоположения, особенностей целераспределения и ТТХ этих образцов в условиях противодействия противника, а также возможностей по его опережению в скорости боевых циклов и при совершении маневров в начале каждого боевого эпизода. Для определения времен переходов полумарковских процессов используются логико-алгебраические выражения, изложенные в [47]. Живучесть элементов боевых порядков определяется живучестью входящих в их состав устройств и/или ИТС. При этом учитывается, что инженерное оборудование элементов боевых порядков может дополнительно защищать от огневого поражения и снижать их заметность. Экипаж (орган управления, расчет) элемента боевого порядка в результате огневого поражения теряет боеспособность аналогично устройствам и ИТС. На этом этапе в качестве исходных данных должны использоваться результаты оценки эффективности перспективных способов воздействия на «материю» и «информацию», получаемые в отраслевых научно-исследовательских организациях и вузах Минобороны и на предприятиях оборонно-промышленного комплекса России.

Этап 4. Агрегирование динамики соотношения сил. По аналогии с методическим подходом, предложенным Буравлевым А.И. [7], показатели соотношения сил в соседних районах боевых действий агрегируют взвешенной аддитивной сверткой до заданного уровня с учетом иерархической вложенности и возможностей сторон по тыловому обеспечению. Для этого «дерево» боя в каждом районе боевых действий свертывается в один отрезок между начальной и наиболее отдаленной по времени узловыми точками (см. рис. 2 справа). Соотношение сил на этом отрезке в каждый момент времени вычисляют как сумму значений соотношения сил всех боевых эпизодов, предусмотренных «дерево» боя в этот момент времени, взвешенных по вероятности реализации этих эпизодов с учетом многократных ветвлений до этого момента. При этом завершившиеся к рассматриваемому моменту альтернативные варианты боя продлеваются до наиболее отдаленной по времени узловой точки боевых действий в целом с сохранением неизменности достигнутого соотношения сил. Выражение для оценки соотношения сил на стратегическом уровне имеет следующий вид:

$$f_C^{A(B)}(t) = \sum_{i=1}^{I_{OC}} \left(W_{OC_i} \sum_{j=1}^{I_{O_i}} \left(W_{O_{i,j}} \sum_{k=1}^{I_{T_{i,j}}} \left(W_{T_{i,j,k}} f_{i,j,k}^{A(B)}(t) \right) \sqrt{\frac{K_{pO_{i,j}}^{A(B)}}{K_{pO_{i,j}}^{B(A)}}} \right) \sqrt{\frac{K_{pOC_i}^{A(B)}}{K_{pOC_i}^{B(A)}}} \right), \quad (5)$$

где: $W_{OC_i} \in (0,1]$, $W_{O_{i,j}} \in (0,1]$ и $W_{T_{i,j,k}} \in (0,1]$ – показатели важности i -го оперативно-стратегического, j -го оперативного и k -го тактического района, соответственно (задаются экспертным методом, сумма таких показателей, соответственно, равна 1); $f_{i,j,k}^{A(B)}(t)$ – показатель соотношении сил в k -м тактическом районе, рассчитываемый по формуле (1); $K_{pOC_i}^{A(B)}$ и $K_{pO_{i,j}}^{A(B)}$ – показатели тылового (ресурсного) обеспечения i -го оперативно-стратегического и j -го оперативного района, соответственно (рассчитывается, например, по методике в [50]).

В данном контексте следует обратить особое внимание на правомерность использования в предлагаемом способе уравнений Осипова-Ланчестера. Дело в том, что из существующих подходов к аналитическому моделированию процесс взаимодействия сложных организационно-технических систем, к которым относятся воинские формирования, с вышеуказанным уровнем детализации может быть описан с применением методов теории интегрального и дифференциального исчисления, теории марковских процессов, теории массового обслуживания и теории автоматов (в части аппарата построения сетей Петри и их различных модификаций). Эти подходы ориентированы на причинно-следственную детализацию анализируемого процесса. При рассмотрении такого сложного процесса, как боевые действия, набор его состояний определяет исследователь. Практика показывает, что сформировать удовлетворяющее всех исследователей множество состояний вооруженного конфликта, которое бы системно учитывало особенности боевой и информационной обстановки, невозможно. Для этого, кроме объединения выделенных различными исследователями состояний, потребовалось бы определить множество переходов между ними. В результате неизбежно возникнет так называемая проблема «взрыва» пространства состояний моделируемой сложной системы.

Устранение указанного недостатка обеспечивается использованием уравнений, предложенных Осиповым [1], Ланчестером [2] и другими авторами (теоретическое обобщение приведено в работе Митюкова Н.В. [12]). Эти уравнения базируются на методе динамики средних теории марковских процессов и сводят количество состояний исследуемого процесса до количества участников конфликта. За последнее столетие принципиально новых подходов к аналитическому моделированию вооруженных конфликтов со времен пионерских моделей Осипова-Ланчестера не предложено. По этой же причине метод динамики средних сегодня является базовым и в теории борьбы за существование, активно развиваемой в биологической и экономической отраслях науки.

Однако известны условия применимости метода динамики средних [46]:

- потоки воздействий конфликтующих систем друг на друга являются пуассоновскими;
- интенсивности переходов между состояниями не зависят от численности сторон в этих состояниях;

- смена состояний каждого элемента противоборствующих сторон не зависит от смены состояний других элементов;
- процесс взаимодействия систем является стационарным.

Способ удовлетворяет каждому из этих условий следующим образом.

Во-первых, пуассоновский поток событий обладает тремя свойствами: отсутствие последействия (независимость времени реализации разных событий), ординарность (не одновременность) и однородность. Отсутствие последействия обеспечивается применением на первом этапе подхода, представляющего бой древовидным графом, в котором боевые эпизоды характеризуются постоянными напряженностью сил и интенсивностью работы средств. Ординарность обусловлена практикой, поскольку в реальном бою вероятность реализации полностью синхронных воздействий даже при высокой степени организации боя с применением передовых достижений информационных и телекоммуникационных технологий пренебрежимо мала. Однородность обеспечивается тем, что каждый элемент боевого порядка рассматривается как часть *единой системы* (воинского формирования), реализующей *единый однородный поток* «многогранных» воздействий. При этом вклад каждого элемента боевого порядка в данный поток определяется коэффициентом боевой соизмеримости этого элемента. Коэффициенты боевой соизмеримости вычисляются аналитическим методом, суть которого изложена выше. То есть ключевое для теории боевой эффективности понятие «коэффициент боевой соизмеримости» является инструментом, обеспечивающим выполнение условия однородности потока «многогранных» воздействий изначально неоднородных формирований.

Во-вторых, условие независимости интенсивностей перехода из состояния в состояние от численности состояний не является критичным. Известно, что даже в случае существования такой зависимости, метод динамики средних применим, если число элементов больше или равно 50 [46]. Если элемент боевого порядка – это отделение (расчет, экипаж) с образцом вооружения, то уже бой между двумя батальонами полностью нивелирует данное ограничение, а элементом воинского формирования в предлагаемом способе может являться даже отдельное ИТС (например, ретранслятор радиосигналов средств связи).

В-третьих, условие независимости смены состояний различных элементов полностью согласуется с практикой. Стационарность боя также подтверждается практикой, поскольку при неизменных исходных данных одна из сторон неизбежно победит, а другая потерпит поражение.

Особенность применения предлагаемого способа при оценивании соотношения сил в мирное время состоит в том, что для элементов боевых порядков, наносимых на электронную карту тактического района на втором этапе, эффект от средств огневого поражения в расчетах не учитывается.

Примеры применения способа

Способ может иметь две схемы применения: базовая и экспресс-анализ. В базовой схеме используются все этапы способа, а в экспресс-анализе только второй и третий этапы для начальной узловой точки (начала боя). Экспресс-анализ ориентирован преимущественно на штабные модели и позволяет макси-

мально быстро получить численную оценку начального соотношения сил в интересах выработки наиболее адекватного замысла предстоящих боевых действий для различных вариантов исходного размещения сил и средств.

Рассмотрим примеры экспресс-анализа для гипотетического боевого эпизода, в котором элементы боевых порядков двух мотострелковых (мотопехотных) рот размещаются на расстоянии до 5 км друг от друга. Полный набор исходных данных для моделирования ввиду значительности его объема приводить не будем. Отметим только, что состав, ГТХ элементов боевых порядков и информационные потоки рот *A* и *B* схожие, а число элементов для наглядности меньше 50. Элементами каждой роты являются: командно-наблюдательный пункт (КНП) роты, средство разведки (СР), по три средства огневого поражения (СОП) в каждом из трех взводов. КНП взвода размещается на одном из его СОП. КНП каждой роты размещается на отдельном СОП. Всеми элементами боевых порядков используются ИТС УКВ-радиосвязи, местоположение и информацию которых вскрывает СР противника. Уровень информатизации элементов боевых порядков: 50%. Вероятность попадания СОП в цель: 0,1. Вероятность разведки элементов противника с применением нетехнических средств: 0,5. Длительность эпизода: 20 мин.

Пример 1. Пусть в роте *A* дополнительно присутствует средство психологического воздействия (СПсВ). При этом моделируются два варианта исполнения СПсВ. Первый вариант предусматривает его мобильное исполнение и размещение вблизи КНП роты, а второй – его исполнение в виде целевой нагрузки беспилотного летательного аппарата (БЛА), барражирующего непосредственно над боевым порядком противника (см. рис. 5).

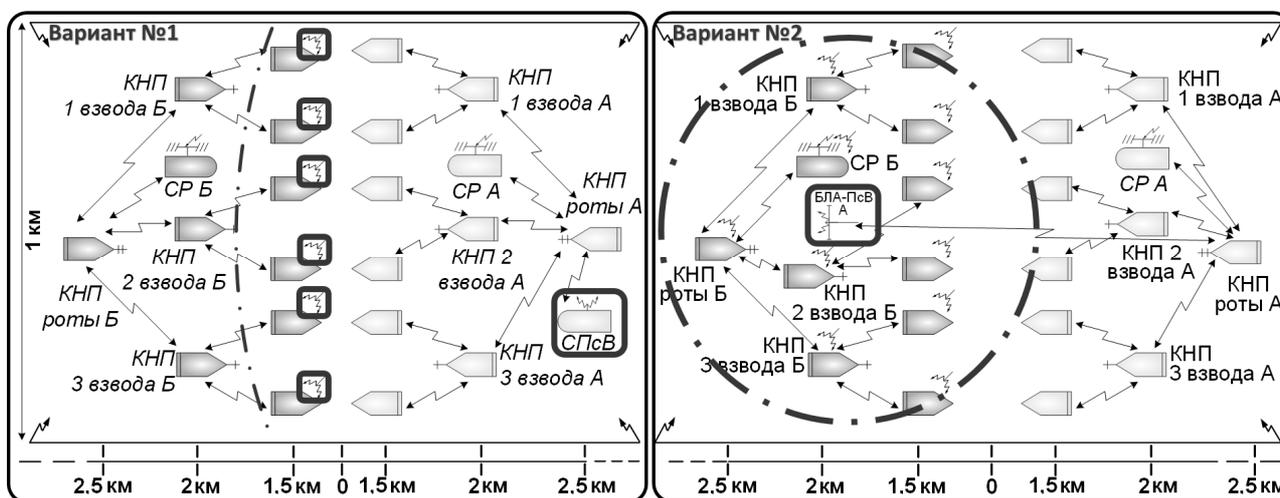


Рис. 5. Схема размещения элементов боевых порядков двух рот с применением одной из них средства психологического воздействия (вариант)

Разница вариантов размещения СПсВ в том, что с земли оно ввиду ограниченной дальности действия способно влиять только на личный состав тех СОП, которые находятся на передовых позициях боевого порядка, а с БЛА, барражирующего непосредственно над центром боевого порядка противника, оно влияет на весь личный состав противника. Кроме того, на земле оно под-

вержено огневому поражению, а БЛА для СОП не достигаем. Сектор стрельбы каждого СОП охватывает весь боевой порядок противника (кроме БЛА). Вероятность разведки: 1. Вероятность эффективного психологического воздействия: 0,1 (т.е. из 10 человек один будет выведен из строя). Применение способа для этих исходных данных позволило получить следующие результаты (см. рис. 6).

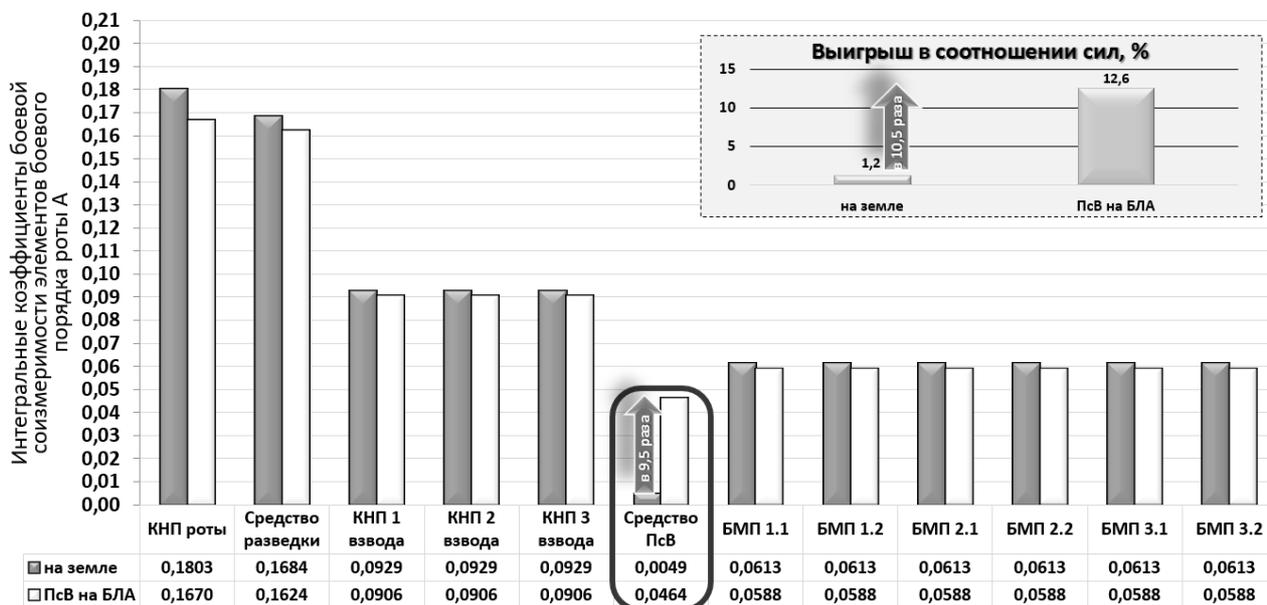


Рис. 6. Результаты моделирования в части применения СПсВ

Во-первых, при равных составе сил и средств противоборствующих формирований и отсутствии преимуществ в позициях дополнительное применение размещаемого на земле СПсВ дает незначительный прирост в выигрыше в соотношении сил, равный около 1,2%.

Во-вторых, размещение СПсВ на БЛА позволяет существенно увеличить выигрыш в соотношении сил. В примере оно увеличилось в 10,5 раза до 12,6%.

Пример 2. Пусть в роте А дополнительно присутствует элемент с функцией радиоэлектронного подавления (СРП), предназначенный для блокирования только информационных потоков противника и не влияющий на его СР. При этом моделируются два варианта исполнения и размещения СР и СРП роты А. Первый вариант предусматривает их мобильное исполнение и размещение вблизи КНП роты, а второй – их исполнение в виде целевых нагрузок БЛА, барражирующих над боевым порядком противника (рис. 7).

Разница эффектов от размещения СРП состоит в том, что с земли СРП ввиду ограниченной дальности реализуемого им воздействия способно блокировать радиосвязь только тех СОП, которые находятся на передовых позициях боевого порядка (не являются КНП). БЛА с целевой нагрузкой радиоподавления роты А барражирует непосредственно над центром боевого порядка противника и полностью блокирует его радиосвязь. СР в обоих вариантах получает информацию о противнике, но на земле оно подвержено огневому поражению, а БЛА для СОП не достигаем. Сектор стрельбы каждого СОП охватывает весь боевой порядок противника. Исключение составляют БЛА роты А во втором варианте. Вероятность РЭП и разведки равна 1. Применение способа позволило

получить зависимости показателей выигрыша в соотношении сил роты А над ротой В от времени для трех случаев: СР и СРП на земле, СРП на БЛА, СР и СРП на БЛА (рис. 8). В результате установлены следующие закономерности.

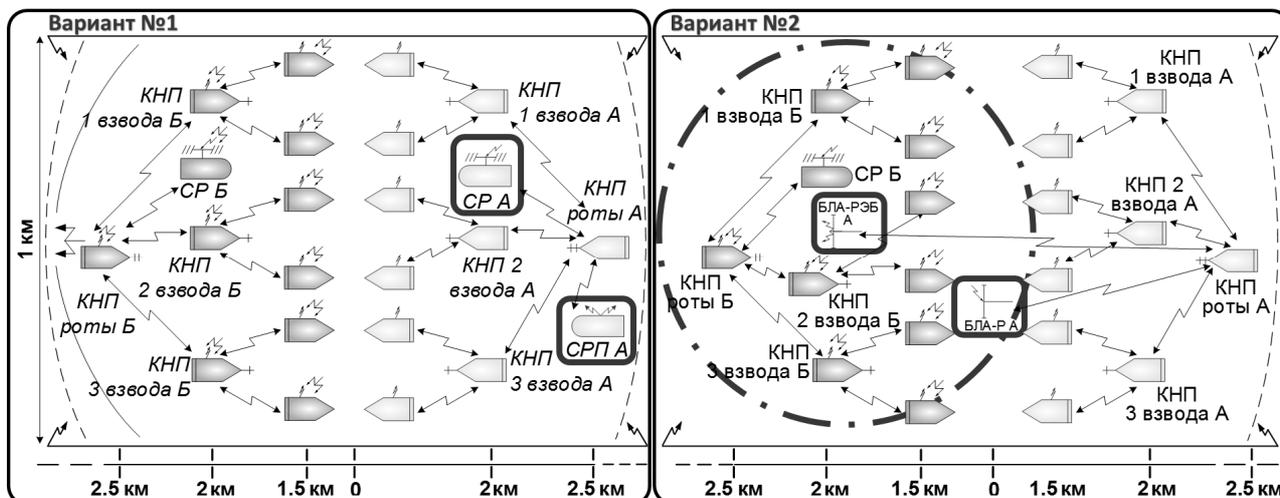


Рис. 7. Схема размещения элементов боевых порядков двух рот с применением одной из них средства радиоэлектронного подавления (вариант)

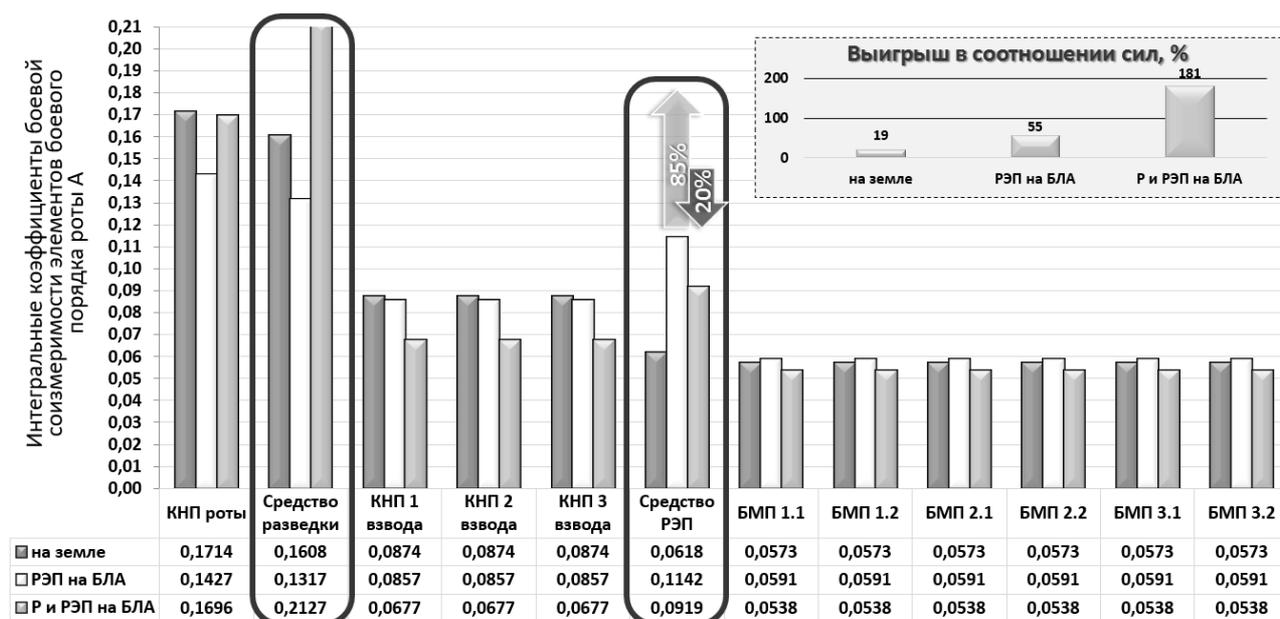


Рис. 8. Результаты моделирования в части применения СРП

Во-первых, размещение на БЛА СР и СРП дает существенный прирост соотношения сил. В примере оно возросло с 1,19:1 до 2,81:1.

Во-вторых, СР в бою имеет значительный приоритет перед СРП.

В-третьих, при равном составе сил и средств сторон и отсутствии преимуществ в занятых позициях дополнительное применение СРП обеспечивает весомый прирост соотношения сил, равный в примере 19%.

Область применения способа

Следует отметить, что способы в вооруженной борьбе имеют строго выраженную иерархию, показанную на рис. 9.

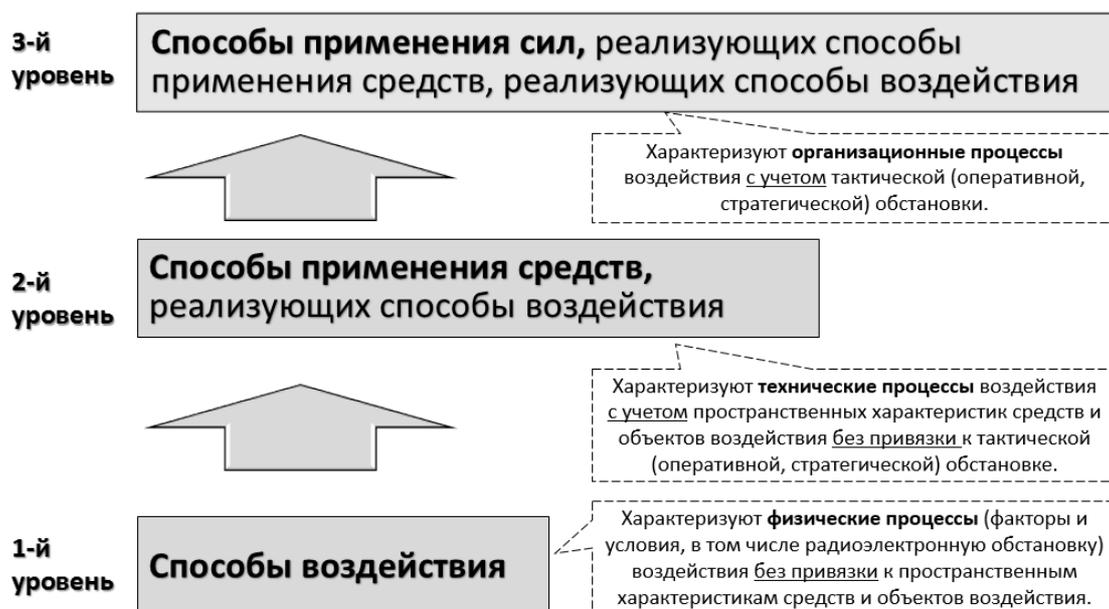


Рис. 9. Иерархия способов в вооруженной борьбе

На *первом уровне* (низшем), то есть в основе эффективности воинских формирований в боевых действиях, лежат способы воздействия. Способы этого уровня характеризуют физические процессы (факторы и условия) воздействия без привязки к пространственным характеристикам образцов вооружения и объектов воздействия. Эффективность этих способов доказывается теоретически или натурным методом в лабораторных условиях.

На *втором уровне* находятся способы применения образцов вооружения. Эти способы отличаются от способов первого уровня следующим:

- включают один или несколько способов воздействия, но рассматривают их с позиции «черного ящика»;
- характеризуют технические особенности образцов вооружения, включая их носители;
- характеризуют особенности размещения в пространстве образцов вооружения и объектов воздействия;
- характеризуют особенности процессов разведки и управления, необходимых для эффективного применения образцов вооружения;
- не привязаны к конкретным условиям боевой обстановки;
- эффективность этих способов доказывается при проведении испытаний или военно-технических экспериментов.

На *третьем уровне* (наивысшем) находятся способы применения сил (подразделений, частей, соединений, объединений). Общеизвестно, что способ применения сил включает избранный порядок воздействия на объекты противника, сосредоточения усилий, построения боевого порядка, а также маневра и управления силами и средствами.

Эти способы отличаются от способов второго уровня следующим:

- включают один или несколько способов применения образцов вооружения, но рассматривают их с позиции «черного ящика»;
- характеризуют организационные особенности сил и порядок их взаимодействия с другими силами;

- учитывают конкретные условия боевой обстановки;
- характеризуют особенности процессов разведки, координации и управления различными образцами техники, необходимых для эффективного применения сил;
- эффективность этих способов доказывается на учениях, при выполнении специальных задач или в боевых условиях.

Заметим, что образцы вооружения могут применяться не только в боевых действиях, но и в рамках мероприятий, проводимых в мирное время. Очевидно, термин «способ боевого применения» употребим в боевых действиях. Поэтому в наиболее общем случае для способов второго и третьего уровней рассматриваемой иерархии во избежание путаницы представляется целесообразным использовать термин «способ применения».

С учетом изложенного предлагаемый в настоящей статье способ ориентирован на оценку эффективности способов второго и третьего уровней иерархии. При этом если в подразделении один образец вооружения, то способ применения этого подразделения является способом применения данного образца. Эффективность применения подразделения, в котором более одного образца вооружения, всегда больше суммарной эффективностей применения этих образцов в отдельности из-за характерного для сложных систем синергетического эффекта, что подтверждают результаты применения предлагаемого способа.

Однако ключевой особенностью предлагаемого способа является то, что «дерево» боя для заданного тактического района разрабатывается экспертами. Автоматически построить такой граф возможно с применением методов имитационного моделирования [6, 14]. Однако это, очевидно, потребует значительных временных и вычислительных ресурсов, часто недоступных при планировании боевых действий и сводящих к минимуму пользу от применения способа в исследовательских моделях, не поддерживаемых высокопроизводительной вычислительной платформой. Поэтому задача автоматического построения «дерева» боя для заданных условий боевой обстановки является весьма актуальной.

Различные сочетания изменения и фиксации факторов, влияющих на успех в бою [16], при известном составе сил и средств противника образуют двенадцать вариантов задач моделирования боя, показанных на рис. 10.

В целом второй и третий этапы предлагаемого способа потенциально применимы при решении задач 4-6 и 10-12, а именно при моделировании позиционной борьбы изменяющимися своими силами и средствами, при выборе оптимальных состава и позиций или только состава своих сил и средств для заданного соотношения сил, при выборе оптимальных позиций для заданных своих сил и средств в начале боевого эпизода, а также при вычислении соотношения сил в начале боевого эпизода своими заданными силами и средствами.

Однако способы решения оптимизационных задач 5, 6 и 11 на рис. 10 за приемлемое время сегодня не известны. Количество комбинаторных сочетаний вариантов автоматического размещения элементов боевых порядков на поле боя экспоненциально зависит от размера тактического района и уровня воинского формирования. Поэтому поиск решения этой научной задачи актуален.

№	Состояние факторов («+» – изм., «-» – фикс.)				Вид моделей	Характеристика задачи (при известном составе сил и средств противника)
	Соотношение сил	Время	Пространство			
			Свои	Противник		
1	+	+	+	+	Теория игр, имитация	Моделирование встречного боя, ведущегося пополняющимися (убывающими) своими силами и средствами
2	+	+	+	-	Теория игр, имитация	Моделирование захвата заданного рубежа пополняющимися (убывающими) своими силами и средствами
3	+	+	-	+	Теория игр, имитация	Моделирование удержания заданного рубежа пополняющимися (убывающими) своими силами и средствами
4	+	+	-	-	Аналитические	Моделирование позиционной борьбы пополняющимися (убывающими) своими силами и средствами
5	+	-	+	не актуально	Аналитические	Оптимизационная задача выбора позиций и состава своих сил и средств для заданного соотношения сил
6	+	-	-	не актуально	Аналитические	Оптимизационная задача выбора состава своих сил и средств в начале боевого эпизода для заданного соотношения сил
7	-	+	+	-	Теория игр, имитация	Моделирование захвата заданного рубежа заданными своими силами и средствами
8	-	+	+	+	Теория игр, имитация	Моделирование встречного боя, ведущегося заданными своими силами и средствами
9	-	+	-	+	Теория игр, имитация	Моделирование удержания заданного рубежа заданными своими силами и средствами
10	-	+	-	-	Аналитические	Вычисление исхода позиционной борьбы заданными своими силами и средствами
11	-	-	+	не актуально	Аналитические	Оптимизационная задача выбора позиций для заданных своих сил и средств в начале боевого эпизода
12	-	-	-	не актуально	Аналитические	Вычисление соотношения сил в начале боевого эпизода

Рис. 10. Классификация задач моделирования боя

Предложенный способ реализован в программном комплексе, аналогичном по задачам элементу программного обеспечения типа «Блицкриг», которое используется в автоматизированной системе управления войсками США FBCB [51]. Результаты применения этого комплекса подтверждают реальный опыт и выводы авторов многих научных статей о том, что универсальных оценок соотношения сил не существует. Они зависят от местоположения элементов боевых порядков, особенностей местности ведения боевых действий, климатических условий, активности диверсионной деятельности и ряда других показателей.

Способ может найти применение при разработке исследовательских моделей в интересах обоснования состава воинских формирований и ТТХ перспективных образцов вооружения, а также при разработке штабных моделей, используемых в системах поддержки принятия решений различного уровня, когда набор исходных данных задается в виде заранее подготовленных шаблонов.

Заключение

Таким образом, предложен способ аналитического моделирования боевых действий, позволяющий оценить соотношение сил разнородных воинских формирований любого уровня иерархии, в состав которых входят образцы вооружения с функциями разведки, управления, огневого поражения, связи, имитации обстановки, радиоэлектронного подавления, психологического воздействия, радиационного, химического и биологического воздействия, нелетального воздействия, программного воздействия и воздействия мощным электромагнитным излучением. Способ системно учитывает материальные и информационные аспекты боевой обстановки на уровне дискретно-событийных моделей функционирования устройств и информационно-технических средств, используемых воинскими формированиями. По своей сути данный способ является очередным шагом на пути к созданию единой «меры» взаимного влияния «материи» и «информации» при моделировании вооруженной борьбы.

Литература

1. Осипов М. П. Влияние численности сражающихся сторон на их потери // Военный сборник. 1915. № 10. С. 93-96.
2. Lanchester F. Aircraft in Warfare: the Dawn of the Fourth Arm. – London, Constable and Co, 1916. – 243 p.
3. Абчук В. А. Справочник по исследованию операций. – М.: Воениздат, 1979. – 368 с.
4. Алексеев О. Г., Анисимов В. Г., Анисимов Е. Г. Марковские модели боя. – М.: МО СССР, 1985. – 85 с.
5. Алексеев О. Г., Анисимов В. Г., Анисимов Е. Г. Модели распределения средств поражения в динамике боя. – М.: МО СССР, 1989. – 110 с.
6. Борисов В. В., Сысков В. В. Мультиагентное моделирование сложных организационно-технических систем в условиях противоборства // Информационные технологии. 2012. № 4. С. 7-14.
7. Буравлев А. И., Горшков П. С. К вопросу о построении агрегированной модели противоборства группировок войск // Вооружение и экономика. 2017. № 5(42). С. 35-48.
8. Буравлев А. И., Русанов И. П. Динамика боевых потенциалов // Военная Мысль. 2011. № 1. С. 26-30.
9. Захаров Л. В., Богданов С. А. О выработке единых подходов к оценке боевых потенциалов // Военная Мысль. 1992. № 8-9. С. 42-49.
10. Меркулов С. Н., Сухоруков Ю. С., Донсков Ю. Е. Проблемы автоматизации интеллектуальной поддержки принятия решений общевойсковыми командирами в тактическом звене // Военная Мысль. 2009. № 9. С. 43-53.
11. Мильграм Ю. Г., Попов И. С. Боевая эффективность авиационной техники и исследование операций. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1970. – 506 с.
12. Митюков Н. В. Имитационное моделирование в военной истории. – М.: ЛЕНАНД, 2018. – 280 с.
13. Новиков Д. А. Иерархические модели военных действий // Управление большими системами. 2012. № 37. С. 25-61.
14. Поленин В. И., Сущенков Д. А. Разработка модели вооруженного противоборства боевых систем тактического уровня с нанесением ударов непосредственно по боевой системе противника и отражением ударов противника по своей боевой системе // Национальная ассоциация ученых. 2015. № 8(17). С. 167-171.
15. Сосюра О. В. Расчет обобщенных показателей боевых возможностей войск в операциях (боевых действиях) с учетом эффективности управления ими (потенциально-долевой метод). – М.: Военная Мысль, 1997. – 142 с.
16. Тараканов К. В. Математика и вооруженная борьба. – М.: Воениздат, 1974. – 240 с.
17. Ткаченко П. Н., Куцев Л. Н., Мещеряков Г. А., Чавкин А. М., Чебыкин А. Д. Математические модели боевых действий. – М.: Советское радио, 1969. – 240 с.

18. Фендриков Н. М., Яковлев В. И. Методы расчетов боевой эффективности вооружения. – М.: Военное издательство, 1971. – 224 с.
19. Цыгичко В. Н., Стокли Ф. Метод боевых потенциалов: история и настоящее // Военная Мысль. 1997. № 4. С. 23-28.
20. Черноскутов А. И., Ситкевич А. В., Тришкин В. С. Рациональный способ уничтожения разнородных группировок // Военная Мысль. 2018. № 1. С. 63-67.
21. Чуев Ю. В. Исследование операций в военном деле. – М.: Воениздат, 1970. – 256 с.
22. Ivancevic V., Pourbeik P., Reid D. Tensor-Centric Warfare I: Tensor Lanchester Equations. Intelligent Control and Automation, 2018, no. 9. pp. 11-29.
23. Kress M., Lin K., MacKay N. The Attrition Dynamics of Multilateral War. Operation Research, 2018, no. 4(66), pp. 950-956.
24. Washburn A., Kress M. Combat Modeling. – London, Springer, 2009. – 281 p.
25. Будников С. А., Козирацкий Ю. Л., Паринов М. Л. Обобщенная модель конфликта основных систем вооружения // Вооружение и экономика. 2011. № 1(13). С. 13-23.
26. Вакин С. А., Шустов Л. Н. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки. – М.: Советское радио, 1968. – 448 с.
27. Владимиров В. И., Владимиров И. В. Основы оценки конфликтостойчивых состояний организационно-технических систем (в информационных конфликтах). – Воронеж: ВАИУ, 2008. – 231 с.
28. Владимиров В. И., Лихачев В. П., Шляхин В. М. Антагонистический конфликт радиоэлектронных систем. Методы и математические модели. – М.: Радиотехника, 2004. – 384 с.
29. Донсков Ю. Е., Спасибухов С. Н., Демин В. Е. О системном подходе к моделированию конфликтного взаимодействия в радиоэлектронной борьбе // Военная Мысль. 2009. № 3. С. 31-39.
30. Сергеев В. И., Карпухин В. И., Баринов С. П. Пути повышения эффективности совместного применения группировок войск противовоздушной обороны и радиоэлектронной борьбы в операциях // Военная Мысль. 2018. № 6. С. 67-73.
31. Козирацкий А. Ю., Паринов М. Л. Методический подход к построению вероятностной модели конфликта сложных систем, обеспечивающей анализ динамики изменения их численностей // Вестник Воронежского военного института. 2006. № 1. С. 9-19.
32. Козирацкий Ю. Л., Иванцов А. В. Оценка оперативности выполнения противником циклических задач поражения в условиях противодействия его техническим средствам разведки // Вооружение и экономика. 2014. № 1(26). С. 34-38.
33. Будников С. А., Гревцев А. И., Иванцов А. В., Кильдюшевский В. М., Козирацкий А. Ю., Козирацкий Ю. Л., Кущев С. С., Лысиков В. Ф., Паринов М. Л., Прохоров Д. В. Модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения. – М.: Радиотехника, 2013. – 232 с.

34. Губарев В. А., Крутских П. П. Концептуальная модель конфликта в информационной борьбе // Радиотехника. 1998. № 6. С. 29-31.

35. Поддубный В. Н., Агафонов А. А., Ложкин К. Ю. Методология и результаты синтеза и оценки эффективности преднамеренных помех приемникам дискретных сигналов // Радиотехника и электроника. 2003. Т. 48. № 8. С. 956-962.

36. Агафонов А. А., Артюх С. Н., Афанасьев В. И., Афанасьева Е. М., Бостынец И. П., Быков В. В., Донцов А. А., Ермаков А. И., Калинин А. К., Каунов А. Е., Кирсанов Э. А., Лаптев И. В., Ложкин К. Ю., Марек Я. Л., Миронов В. А., Нечаев С. С., Новиков И. И., Овчаренко Л. А., Огреб С. М., Поддубный В. Н., Понькин В. А., Радзиевский В. Г., Разиньков С. Н., Романов А. Д., Рыжов А. В., Сирота А. А., Соловьев В. В., Сорокин Ю. А., Сухоруков Ю. С., Телков А. Ю., Уфаев В. А., Харченко Т. В., Юхно П. М., Яньшин С. Н. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии. – М.: Радиотехника, 2006. – 424 с.

37. Дружинин В. В., Конторов Д. С. Введение в теорию конфликта. – М.: Радио и связь, 1989. – 288 с.

38. Пятунин А. Н., Толстых Н. Н., Павлов В. А., Сидоров Ю. В., Трофимов В. В. Экспериментальная оценка параметров конфликтного взаимодействия информационных систем // Теория и техника радиосвязи. 2005. № 1. С. 63-68.

39. Коробейников А. С., Холуенко Д. В., Пасичник С. И. Эффективность группировки войск радиоэлектронной борьбы в ходе комплексного поражения информационно-управляющей системы противника // Военная Мысль. 2015. № 8. С. 30-34.

40. Поддубный В. Н., Батурин Ю. О., Зайцев И. В., Пустовойтов Ю. И., Чикин М. Г. Состояние и направления развития методологии обоснования требований к технике радиоподавления систем радиосвязи // Радиотехника. 2010. № 6. С. 80-86.

41. Adamy D. L. EW 104: Electronic Warfare Against a New Generation of Threats. – Boston-London, Artech House, 2015. – 491 p.

42. Макаренко С. И., Иванов М. С. Сетевая война - принципы, технологии, примеры и перспективы. – СПб.: Научное издание, 2018. – 898 с.

43. ГОСТ Р 50922-2006 Защита информации. Основные термины и определения. – М.: Госстандарт, 2006. – 12 с.

44. Бойко А. А. О защищенности информации воинских формирований в современном вооруженном противоборстве // Военная Мысль. 2016. № 4. С. 38-51.

45. Бойко А. А. Способ стратифицированного аналитического описания процесса функционирования информационно-технических средств // Информационные технологии. 2015. № 1. С. 35-42.

46. Вентцель Е. С. Введение в исследование операций. – М.: Советское радио, 1964. – 391 с.

47. Бойко А. А., Дегтярев И. С. Метод оценки весовых коэффициентов элементов организационно-технических систем // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 2. С. 245-266.

48. Проданец В. В., Ошеров А. Я. Определение функциональной способности системы управления противовоздушной обороны армии посредством оценки ее качественного состояния // Военная Мысль. 2007. № 1. С. 15-20.

49. Гирин А. В. Усовершенствованная методика определения боевых возможностей общевойсковой группировки войск // Военная Мысль. 2012. № 10. С. 26-30.

50. Андреев С. М., Демков В. В., Кривошеев Р. А. Методика оценки эффективности системы тылового обеспечения бригады материально-технического обеспечения // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения. 2016. № 3. С. 31-38.

51. Кутищев В. Д. Войны будущего: какими им быть? // Армейский сборник. 2012. № 4. С. 60-63.

References

1. Osipov M. P. Vliianie Chislennosti Srazhaiushchikhsia Storon na ikh Poteri [Influence of the Number of Combatants on Their Losses]. *Voennyi Sbornik*, 1915, no. 10, pp. 93-96 (in Russian).

2. Lanchester F. *Aircraft in Warfare: the Dawn of the Fourth Arm*. London, Constable and Co., 1916. 243 p.

3. Abchuk V. A. *Spravochnik po Issledovaniuu Operatsii* [Operations Research Handbook]. Moscow, Voenizdat Publ., 1979. 368 p. (in Russian).

4. Alekseev O. G., Anisimov V. G., Anisimov E. G. *Markovskie Modeli Boia* [Markov Battle Models]. Moscow, Ministry of Defense of the USSR, 1985. 85 p. (in Russian).

5. Alekseev O. G., Anisimov V. G., Anisimov E. G. *Modeli Raspredeleniia Sredstv Porazheniia v Dinamike Boia* [Distribution Models of Means of Damage in Battle]. Moscow, Ministry of Defense of the USSR, 1989. 110 p. (in Russian).

6. Borisov V. V., Syskov V. V. Mul'tiagentnoe Modelirovanie Slozhnykh Organizatsionno-tekhnicheskikh Sistem v Usloviiakh Protivoborstva [Multi-agent Modeling of Complex Organizational and Technical Systems in the Context of Confrontation]. *Informacionnye Tehnologii*, 2012, no. 4, pp. 7-14 (in Russian).

7. Buravlev A. I., Gorshkov P. S. K Voprosu o Postroenii Agregirovannoi Modeli Protivoborstva Gruppировок Voisk [On the Issue of Building an Aggregated Model of Confrontation Between Groups of Troops]. *Armament and Economy*, 2017, no. 5(42), pp. 35-48 (in Russian).

8. Buravlev A. I., Rusanov I. P. Dinamika Boevykh Potentsialov [Combat Potential Dynamics]. *Military Thought*, 2011, no. 1, pp. 26-30 (in Russian).

9. Zakharov L. V., Bogdanov S. A. O virabotke edinih podhodov k ocenke boevih potencialov [On the Development of Unified Approaches to the Assessment of Combat Potentials]. *Military Thought*, 1992, no. 8-9, pp. 42-49 (in Russian).

10. Merkulov S. N., Sukhorukov Iu. S., Donskov Iu. E. Problemy Avtomatizatsii Intellektual'noi Podderzhki Priniatiia Reshenii Obshchevoiskovymi Komandirami v Takticheskom Zvene [Problems of Automation of Intellectual Decision Support by Combined-arms Commanders at the Tactical Level]. *Military Thought*, 2009, no. 9, pp. 43-53 (in Russian).

11. Mil'gram Iu. G., Popov I. S. *Boevaia Effektivnost' Aviatsionnoi Tekhniki i Issledovanie Operatsii* [Aviation Efficiency and Operational Research]. Moscow, Zhukovsky Air Force Engineering Academy, 1970. 506 p. (in Russian).

12. Mitiukov N. V. *Imitatsionnoe Modelirovanie v Voennom Istorii* [Simulation in Military History]. Moscow, LENAND, 2018. 280 p. (in Russian).

13. Novikov D. A. Ierarkhicheskie Modeli Voennykh Deistvii [Hierarchical Models of Military Actions]. *Upravlenie Bolsimi Sistemami*, 2012, no. 37, pp. 25-61 (in Russian).

14. Polenin V. I., Sushchenkov D. A. Razrabotka Modeli Vooruzhennogo Protivoborstva Boevykh Sistem Takticheskogo Urovnia s Naneseniem Udarov Neposredstvenno po Boevoi Sisteme Protivnika i Otrazheniem Udarov Protivnika po Svoei Boevoi Sisteme [Development of a Model of Armed Confrontation of Combat Systems at the Tactical Level with Striking Directly at the Enemy's Combat System and Repelling the Enemy's Strikes Against its Combat System]. *National Association of Scientists*, 2015, no. 8(17), pp. 167-171 (in Russian).

15. Sosura O. V. *Raschet obobshennich pokazateley boevich vozmozhnostey voisk v operachiyach (boevich deistviyah) s uchetom effektivnosti upravleniya imi (potencialno-delevoy metod)* [Calculation of Generalized Indicators of the Combat Capabilities of Troops in Operations (Combat Operations), Taking into Account the Effectiveness of their Management (the Potential-share Method)]. Moscow, Military Thought Publ., 1997. 142 p. (in Russian).

16. Tarakanov K. V. *Matematika i vooruzhennaya borba* [Mathematics and Armed Struggle]. Moscow, Voenizdat Publ., 1974. 240 p. (in Russian).

17. Tkachenko P. N., Kutsev L. N., Meshcheriakov G. A., Chavkin A. M., Chebykin A. D. *Matematicheskie Modeli Boevykh Deistvii* [Mathematical Models of Fighting]. Moscow, Soviet Radio Publ., 1969. 240 p. (in Russian).

18. Fendrikov N. M., Iakovlev V. I. *Metody Raschetov Boevoi Effektivnosti Vooruzheniia* [Calculation Methods of Combat Effectiveness of Weapons]. Moscow, Voenizdat Publ., 1971. 224 p. (in Russian).

19. Tsygichko V. N., Stokli F. Metod Boevykh Potentsialov: Istorii i Nastoiashchee [The Method of Combat Potentials: History and Present]. *Military Thought*, 1997, no. 4, pp. 23-28 (in Russian).

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

21. Chuev Iu. V. *Issledovanie Operatsii v Voennom Dele* [Operations Research in Military]. Moscow, Voenizdat Publ., 1970. 256 p. (in Russian).

22. Ivancevic V., Pourbeik P., Reid D. Tensor-Centric Warfare I: Tensor Lanchester Equations. *Intelligent Control and Automation*, 2018, no. 9, pp. 11-29.

23. Kress M., Lin K., MacKay N. The Attrition Dynamics of Multilateral War. *Operation Research*, 2018, no. 4(66), pp. 950-956.

24. Washburn A., Kress M. *Combat Modeling*. London, Springer, 2009. 281 p.

25. Budnikov S. A., Koziratskii Iu. L., Parinov M. L. Obobshchennaia Model' Konflikta Osnovnykh Sistem Vooruzheniia [The Generalized Conflict Model of the Main Weapons Systems]. *Armament and Economy*, 2011, no. 1(13), pp. 13-23 (in Russian).

26. Vakin S. A., Shustov L. N. *Osnovy Radioprotivodeistviia i Radiotekhnicheskoi Razvedki* [Fundamentals of Radio Countermeasures and Electronic Intelligence]. Moscow, Soviet Radio Publ., 1968. 448 p. (in Russian).

27. Vladimirov V. I., Likhachev V. P., Shliakhin V. M. *Antagonisticheskii Konflikt Radioelektronnykh Sistem. Metody i Matematicheskie Modeli* [Antagonistic Conflict of Electronic Systems. Methods and Mathematical Models]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2004. 384 p. (in Russian).

28. Vladimirov V. I., Vladimirov I. V. *Osnovy Otsenki Konflikto-ustoichivyykh Sostoianii Organizatsionno-tekhnicheskikh Sistem (v Informatsionnykh Konfliktakh)* [Basics of Assessing Conflict-resistant States of Organizational and Technical Systems (in Information Conflicts)]. Voronezh, Voenного Aviatsionного Inzhenerного Universiteta Publ., 2008. 231 p. (in Russian).

29. Donskov Iu. E., Spasibukhov S. N., Demin V. E. O Sistemnom Podkhode k Modelirovaniu Konfliktnogo Vzaimodeistviia v Radioelektronnoi Bor'be [On the System Approach to Modeling Conflict Interaction in Electronic Warfare]. *Military Thought*, 2009, no. 3, pp. 31-39 (in Russian).

30. Sergeev V. I., Karpukhin V. I., Barinov S. P. Puti Povysheniia Effektivnosti Sovmestnogo Primeneniia Gruppировок Voisk Protivovozdushnoi Oborony i Radioelektronnoi Bor'by v Operatsiiakh [Ways to Increase the Effectiveness of Joint Use of Groups of Air Defense and Electronic Warfare Troops in Operations]. *Military Thought*, 2018, no. 6, pp. 67-73 (in Russian).

31. Koziratskii A. Iu., Parinov M. L. Metodicheskii Podkhod k Postroeniui Veroiatnostnoi Modeli Konflikta Slozhnykh Sistem, Obespechivaiushchei Analiz Dinamiki Izmeneniia ikh Chislennosti [Methodical Approach to the Construction of a Probabilistic Model of the Conflict of Complex Systems, Providing an Analysis of the Dynamics of Changes in their Numbers]. *Vestnik of Military Institute of Radioelectronics*, 2006, no. 1, pp. 9-19 (in Russian).

32. Koziratskii Iu. L., Ivantsov A. V. Otsenka Operativnosti Vypolneniia Protivnikom Tsiklicheskh Zadach Porazheniia v Usloviiakh Protivodeistviia ego Tekhnicheskimi Sredstvami Razvedki [Evaluation of the Efficiency of the Enemy Performing the Cyclical Tasks of Defeat in the Conditions of Counteraction Against his Technical Intelligence]. *Armament and Economy*, 2014, no. 1(26), pp. 34-38 (in Russian).

33. Budnikov S. A., Grevcev A. I., Ivancov A. V., Kil'dyushevskij V. M., Kozirackij A. Yu., Kozirackij Yu. L., Kushchev S. S., Lysikov V. F., Parinov M. L., Prohorov D. V. *Modeli Informatsionnogo Konflikta Sredstv Poiska i Obnaruzheniia* [Models of Information Conflict of Search and Detection Tools]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2013. 232 p. (in Russian).

34. Gubarev V. A., Krutskikh P. P. Kontseptual'naiia Model' Konflikta v Informatsionnoi Bor'be [The Conceptual Model of Conflict in the Information Struggle]. *Radiotekhnika*, 1998, no. 6, pp. 29-31 (in Russian).

35. Poddubnyi V. N., Agafonov A. A., Lozhkin K. Iu. Metodologiya i Rezul'taty Sinteza i Otsenki Effektivnosti Prednamerennykh Pomekh Priemnikam Diskretnykh Signalov [Methodology and Results of the Synthesis and Evaluation of the Effectiveness of Intentional Interference to Receivers of Discrete Signals]. *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2003, vol. 48, no. 8, pp. 956-962 (in Russian).

36. Agafonov A. A., Artiukh S. N., Afanas'ev V. I., Afanas'eva E. M., Bostynets I. P., Bykov V. V., Dontsov A. A., Ermakov A. I., Kalinkov A. K., Kaunov A. E., Kirsanov E. A., Laptev I. V., Lozhkin K. Iu., Marek Ia. L., Mironov V. A., Nechaev S. S., Novikov I. I., Ovcharenko L. A., Ogreb S. M., Poddubnyi V. N., Pon'kin V. A., Radzievskii V. G., Razin'kov S. N., Romanov A. D., Ryzhov A. V., Sirota A. A., Solov'ev V. V., Sorokin Iu. A., Sukhorukov Iu. S., Telkov A. Iu., Ufaev V. A., Kharchenko T. V., Iukhno P. M., Ian'shin S. N. *Sovremennaiia radioelektronnaia bor'ba. Voprosy metodologii* [Modern Electronic Warfare. Methodology Issues]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2006. 424 p. (in Russian).

37. Druzhinin V. V., Kontorov D. S. *Vvedenie v Teoriii Konflikta* [Introduction to Conflict Theory]. Moscow, Radio and Communication Publ., 1989. 288 p. (in Russian).

38. Piatunin A. N., Tolstykh N. N., Pavlov V. A., Sidorov Iu. V., Trofimov V. V. Eksperimental'naiia Otsenka Parametrov Konfliktnogo Vzaimodeistviia Informatsionnykh Sistem [Experimental Assessment of the Parameters of Conflict Interaction of Information Systems]. *Teoriia i Tekhnika Radiosviazi*, 2005, no. 1, pp. 63-68 (in Russian).

39. Korobeynikov A. S., Kholuenko D. S., Pasichnik S. I. Effektivnost' Gruppировки Voisk Radioelektronnoi Bor'by v Khode Kompleksnogo Porazheniia Informatsionno-upravliaiushchei Sistemy Protivnika [The Effectiveness of the Grouping of Electronic Warfare Troops in the Course of the Complex Destruction of the Information and Control System of the Enemy]. *Military Thought*, 2015, no. 8, pp. 30-34 (in Russian).

40. Poddubnyi V. N., Baturin Iu. O., Zaitsev I. V., Pustovoitov Iu. I., Chikin M. G. Sostoianie i Napravleniia Razvitiia Metodologii Obosnovaniia Trebovaniia k Tekhnike Radiopodavleniia Sistem Radiosviazi [The State and Directions of Development of the Methodology for Substantiating the Requirements for Radio Suppression Technology of Radio Communication Systems]. *Radiotekhnika*, 2010, no. 6, pp. 80-86 (in Russian).

41. Adamy D. L. *EW 104: Electronic Warfare Against a New Generation of Threats*. Boston-London, Artech House, 2015. 491 p.

42. 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).

43. State Standard R 50922-2006 *Zashchita Informatsii. Osnovnye Terminy i Opredeleniia* [Information Security. Basic Terms and Definitions]. Moscow, Standartov Publ., 2006. 12 p. (in Russian).

44. Boyko A. A. O Zashishennosti Informacii Voinskih Formirovaniy v Sovremennom Vooruzhennom Protivoborstve [On the Informations Security of Military Formations in the Modern Armed Confrontation]. *Military Thought*, 2016, no. 4, pp. 38-51 (in Russian).

45. Boyko A. A. Sposob Stratificirovannogo Analiticheskogo Opisaniya Processa Funkcionirovaniya Informacionno-technocheskih Sredstv [The Stratified Analytical Description Method of the Functioning Process of Information Devices]. *Informacionnye Tehnologii*, 2015, no. 1, pp. 35-42 (in Russian).

46. Venttsel' E. S. *Vvedenie v issledovanie operatsii* [Introduction to Operations Research]. Moscow, Soviet Radio Publ., 1964. 391 p. (in Russian).

47. Boyko A. A., Degtyarev I. S. The Weight Coefficient Estimation Method of Elements in Organizational and Technical Systems. *Systems of Control, Communication and Security*, 2018, no. 2, pp. 245–266 (in Russian).

48. Prodanets V. V., Osherov A. Ia. Opredelenie Funktsional'noi Sposobnosti Sistemy Upravleniia Protivovozdushnoi Oborony Armii Posredstvom Otsenki ee Kachestvennogo Sostoiianiia [Determination of the Functional Capacity of the Army Air Defense Control System by Assessing its Qualitative State]. *Military Thought*, 2007, no. 1, pp. 15-20 (in Russian).

49. Girin A. V. Uovershenstvovannaya metodika opredeleniya boevich vozmozhnostey obshevoiskovoy gruppirovki voisk [Improved Methodology for Determining Combat Capabilities of a Combined Arms Troop Grouping]. *Military Thought*, 2012, no. 10, pp. 26-30 (in Russian).

50. Andreev S. M., Demkov V. V., Krivosheev R. A. Metodika Otsenki Effektivnosti Sistemy Tylovogo Obespecheniia Brigady Material'no-tekhnicheskogo Obespecheniia [Methodology for Assessing the Effectiveness of the Logistics Support System of the Logistics Brigade]. *Bulletin of the Military Academy of Logistics*, 2016, no. 3, pp. 31-38 (in Russian).

51. Kutishev V. D. Voini Budushego: Kakimi Im Bit'? [Future Wars: What Will Be They?]. *Army magazine*, 2012, no. 4, pp. 60-63 (in Russian).

Статья поступила 25 марта 2019 г.

Информация об авторе

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

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

Warfare Analytical Modelling Method

A. A. Boyko

Problem Statement. Nowadays new analytical models which systematically can take into account the capabilities of various military means in modern warfare are necessary to support the commanding officer's decision. Available models do not take into account «physical» and «information» military equipment simultaneous mutual influence. **The purpose of the paper.** Military units ratio assessment can be improved because of different military means joint use effect. It means you have to use reconnaissance, control, fire destruction, communication, warfare imitation, electronic suppression, psychological and non-lethal impact, programmatic and electromagnetic radiation influence equipment together. **Used Methods.** The main parts of the proposed method are: 1. Combat tree graph development for each tactical area. There are combat episodes marks in graphs. These marks between adjacent nodes has constant forces exertion and work intensity of means. 2. Combat situation plotting. Combat situation is plotted for each graph node in every tactical area. An electronic map is used. 3. Forces relation dynamic assessment using the classic Osipov-Lanchester model in each combat episode. The assessment taking into account the possibility of elements positions of battle formations at the beginning of the combat episode and their static location placement after deployment in new positions. 4. Combat tree graph convolving and forces ratio dynamics aggregating. Each graph is convolved into a segment between the initial and final graph nodes. Dynamic is aggregated to a predetermined level with taking into account the hierarchical nesting and possibilities of logistic support in adjacent tactical areas. **Novelty of the paper.** 1. Accounting of energy, telecommunication, cognitive, resource and psychological factors influence, on opposing military units ratio in analytical combat model is developed. 2. Analytical expressions detail which is described the processes in operations like «info-technical» means functioning semi-Markov models where the probability density of the distribution of the transition time depends on the mutual influence of the opposing military units is developed. 3. Accounting of the aggregate value of the forces relation in every fighting moment in all alternative combat episodes in each tactical area is developed. **Result.** Warfare modelling method for military units which use military equipment, realizing «physical» and «information» influence is developed. The method provides a specific commonality and high operation speed, typical for analytical methods. The examples of using method where integral coefficients of combat commensurability of combat order elements of motorized infantry companies with additional psychological impact and electronic suppression means are defined, are given, forces ratio are shown. **Practical relevance.** The method can be used in a process of research models development. It can help to substantiate military units composition and perspective military means characteristics. It can also help to develop a staff combat models used at various levels in decision support systems.

Keywords: decision support, combat model, forces relation, combat episode, combat order element, armament sample, tactical area, military formation.

Information about Author

Aleksey Aleksandrovich Boyko – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor. Doctoral Candidate. 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

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