

УДК: 358.111.1, 358.111.6

DOI: 10.53816/20753608_2022_4_40

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ПРИМЕНЕНИЯ
УДАРНО-ОГНЕВЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ КОРРЕКТИРОВАНИЯ ОГНЯ
И МАНЕВРА В ХОДЕ РЕШЕНИЯ ТАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

**MATHEMATICAL MODELLING OF TASKS IN THE APPLICATION
OF SHOCK-FIRE SYSTEMS, TAKING INTO ACCOUNT THE ADJUSTMENT
OF FIRE AND MANEUVER DURING THE RESOLUTION OF TACTICAL TASKS**

Чл.-корр. РАРАН В.А. Кежаев

Михайловская военная артиллерийская академия

V.A. Kezhaev

Рассматриваются особенности решения задач применения ударно-огневых систем в условиях современных высокодинамичных боевых действий. Обращается внимание на необходимость поиска путей повышения оперативности выполнения огневых задач в процессе контрбатарейной борьбы. Подчеркивается важность своевременной корректировки огня и маневра в ходе решения тактических задач. Предлагается аппарат математического моделирования для повышения эффективности применения ударно-огневых систем в условиях современных высокодинамичных боевых действий.

Ключевые слова: ударно-огневая система, боевые действия, эффективность, показатели эффективности, разведывательно-информационное обеспечение, модель, математическое моделирование, управление.

The article considers the peculiarities in solving tasks with the use of shock-fire systems under the conditions of modern highly dynamic combat operations. Attention is drawn to the need to find ways to execute fire tasks in a more effective way during the artillery counterfire. The importance of making quick adjustments to fire and manoeuvre during tactical tasks is stressed. The article offers mathematical modelling device to increase the efficiency of the application of impact and shock-fire systems in the conditions of modern highly dynamic combat operations.

Keywords: shock-fire system, combat operations, efficiency, performance indicators, intelligence and information support, model, mathematical modeling, control.

Введение

Развитие теории и практики применения ударно-огневых систем в вооруженных конфликтах и войнах последнего десятилетия свидетельствует о повышении внимания к проблемам оперативности управления в условиях насыщения войск противника современными системами разведки и поражения [1]. Точное

и своевременное определение координат огневых систем противника не всегда гарантирует успех в ходе боя.

Необходимо в максимально короткие сроки подготовить данные для того, чтобы гарантированно поразить огневые системы противника на соответствующем участке. Кроме того, требуется рассчитать варианты маневра и оперативно переместиться в районы новых огневых

позиций (позиционных районов). Как правило, это комплекс сложных взаимосвязанных задач, которые должны выполняться достаточно быстро, по возможности скрытно, с использованием заранее подготовленных и всесторонне обоснованных планов.

Одним из эффективных путей решения возникших проблем является применение систем автоматизированного управления, отдельных вычислительных систем, позволяющих с системных позиций обеспечить своевременное и оперативное выполнение перечисленных задач. Математическое моделирование задач применения ударно-огневых систем с учетом корректирования огня в ходе решения тактических задач, в частности, является, на наш взгляд [2] перспективным направлением разрешения возникших проблем.

Под ударно-огневой системой в дальнейшем будем понимать минимально возможную штатную боевую тактическую единицу, способную:

- обеспечивать эффективное поражение вскрытых объектов противника (самостоятельно или по распоряжениям старшего начальника) ракетами и (или) снарядами во всем спектре тактических задач в любых условиях боя;

- принимать в автоматизированном режиме необходимую информацию об объектах противника в зоне ответственности (от корректировщиков, беспилотных летательных аппаратов, от соответствующего сегмента единого разведывательно-информационного пространства и т.д.);

- оперативно обрабатывать поступающую информацию с помощью имеющихся встроенных средств автоматизации, обеспечивая должностным лицам ударно-огневой системы режим боевой работы в масштабе времени, близком к реальному (подготовка данных для пуска (стрельбы), корректировка стрельбы, расчет вариантов маршрутов, оценка времени маневра по смене позиционного района (района огневых позиций), пополнения боезапаса и т.д.).

**Методические положения учета
эффективности применения
ударно-огневых систем
в условиях современного боя**

Применение ударно-огневых систем в условиях высокдинамичных боевых действий

требует особого внимания, осторожности и научного прогнозирования развития ситуации на поле боя. Современный противник обладает эффективными системами разведки и поражения. Поэтому все огневые и тактические задачи должны выполняться оперативно, по заранее разработанным планам. Чтобы реализовать данные требования? необходимо с научных позиций изучить особенности и возможности предварительного моделирования многовариантных боевых ситуаций. Для этого требуется сосредоточить внимание на некоторых научно-методических аспектах моделирования действий ударно-огневых систем в условиях современного боя.

Наиболее важной характеристикой ударно-огневых систем является понятие эффективности [1, 3, 4]. В общем случае эффективность применения ударно-огневых систем может быть охарактеризована совокупностью различных показателей [3]. Причем каждый из них должен содержать какие-либо показатели качества всех или некоторых подсистем ударно-огневых систем, а также показатели условий применения. В зависимости от вида ударно-огневых систем, их функционального предназначения и условий применения, показатели эффективности можно классифицировать следующим образом: вероятность выполнения боевой задачи; вероятность поражения объекта противника; вероятность поражения не менее заданной части объекта противника; математическое ожидание числа пораженных объектов противника; математическое ожидание величины нанесенного ущерба и т.п.

С методической точки зрения, показатели эффективности ударно-огневой системы удобно представить в виде двух групп: комплексные, включающие в себя показатели качества нескольких подсистем ударно-огневой систем, и единичные, включающие в себя один показатель качества одной подсистемы ударно-огневого система. В свою очередь, комплексные показатели можно разделить на интегральные и показатели высшего уровня, а единичные — на простейшие и элементарные.

Под интегральными (комплексными) показателями эффективности ударно-огневой системы будем понимать такие показатели, которые включают в себя отдельные показатели качества

всех подсистем ударно-огневой системы. К их числу можно, например, отнести вероятность выполнения боевой задачи, которая зависит от многих показателей качества подсистем разведки, управления, поражения и обеспечения ударно-огневой системы.

К показателям высшего уровня оценки эффективности ударно-огневых систем отнесем такие показатели, которые являются функциями показателей качества нескольких подсистем ударно-огневой системы или нескольких показателей качества одной ее подсистемы. Например, условная вероятность выполнения боевой задачи зависит от поражающей способности боевой части или снаряда, точности удара и защищенности объекта противника.

Одним из наиболее важных факторов достижения цели и выполнения задач по предназначению, стоящих перед ударно-огневой системой, являются тактико-технические характеристики. К тактико-техническим характеристикам совокупности ударных сил и систем поражения будем относить:

а) конструктивные особенности носителей, в том числе головной части, двигательной установки, бортовой системы управления;

б) алгоритмы работы системы наведения и целеуказания, позволяющие наносить удары по критически важным группировкам, объектам и целям противника различными видами систем поражения на максимальной дальности досягаемости ударных и огневых комплексов.

Среди ударно-огневых систем особая роль принадлежит высокоточной системе поражения в обычном (неядерном) снаряжении [5, 6]. Кроме того, в их состав входит высокоточное оружие большой дальности, как вид высокоточного система поражения. Такая классификация predetermined, в частности, спецификой и объемом необходимой информации, требуемой для подготовки боевых (полетных) заданий. Основными характеристиками, определяющими эффективность применения высокоточных систем поражения, являются конструктивно заложенные в них дальность действия, точность наведения на цель, возможность поражения целей в сложных гидрометеорологических условиях и при радиоэлектронном противодействии противника.

Особенности разведывательно-информационного обеспечения применения ударно-огневых систем в современных боевых действиях

Безусловно, вопросы эффективности применения ударно-огневых систем имеют определяющее значение при оценке их боевых характеристик в условиях современного боя. Оптимальное сочетание их тактико-технических характеристик способствует успешному решению задачи упреждения противника в огневом противостоянии, завоеванию огневого превосходства и снижению боевого потенциала противника.

В то же время при моделировании и оценке эффективности применения ударно-огневых систем, необходимо обратить внимание на место и роль разведывательно-информационного обеспечения [6]. О важной роли системы разведывательно-информационного обеспечения свидетельствуют директивные указания, документы [7, 8] и опыт практического применения высокоточного оружия в Сирийской Арабской Республике и в ходе военной специальной операции на Украине.

Достижения в науке и промышленности страны приводят к развитию ударно-огневых систем последующего поколения. Одна из главных целей в этом развитии — достижение полной автономности функционирования ударно-огневых систем. Это, в свою очередь, требует создания эффективной системы информационного обеспечения (разведки, фоноцелевого и навигационного обеспечения, автоматизированных систем управления, и др.).

Важнейшим направлением повышения эффективности применения ударно-огневых систем является обеспечение оперативности, высокой точности и интеграции подсистем информационного обеспечения всех процессов подготовки и применения сил и систем. В интересах совершенствования разведывательно-информационного обеспечения активно проводятся исследования во всех армиях передовых в экономическом отношении стран мира. Ориентировочные характеристики достижений в применении и развитии разведывательно-информационного обеспечения приведены в табл. 1.

Обобщенные характеристики возможностей отечественной и зарубежной организации системы информационного обеспечения

I. Разведывательное обеспечение ударно-огневых систем					
		НАТО		Россия	
1	Полнота вскрытия объектов противника, %	80	С 2011 г. автоматизированная система сбора и обработки разведывательной информации DCGS	20 80	С 2014 г. «Единое разведывательно-информационное пространство ВС РФ» [9]
2	Оперативность обработки и доведения развед. информации до должностных лиц органов военного управления, %	100	Круглосуточная видовая радиоэлектронная разведка	30 90	Видовая разведка и радиоэлектронная разведка
II. Геопространственное обеспечение оружия					
1	База высокоточной цифровой информации о местности в плане — 1–2 м; по высоте — 2–5 м	90	Доля территорий, обеспеченных материалами геопространственной разведки требуемого качества	<10 90	На отдельные районы в плане — 6–10 м; по высоте — 12–15 м
		90	Точность цифровых моделей местности	30 90	
III. Информационное обеспечение систем поражения					
1	Концепция «Глобальный удар», «Единые силы-2020»	90	Степень выполнения требований по обеспечению планирования и применения оружия, %	20 80	Концепция «Информационного обеспечения ВС РФ», «Концепция развития единого информационного пространства ВС РФ на период до 2027 года» [8]
2	«Ричбок» (система разведки и целеуказания)	90	Время цикла: «Обнаружение объекта — выдача данных для поражения», %	10 80	«МАРУС» с 2015 г. — ИТРК ИО ВТО, Опытный район

Примечание: в числителе указан достигнутый уровень, а в знаменателе планируемый уровень к 2025 году.

В ходе проведения исследований в области разведывательно-информационного обеспечения необходимо учитывать ряд фундаментальных положений теории военного управления:

1. Деятельность должностных лиц органов управления по реализации мероприятий разведывательно-информационного обеспечения во всем спектре решаемых боевых задач должна регламентироваться строгим соблюдением требований таких законов, как:

- единства и целостности системы управления, сохранения пропорциональности и сбалансированного сочетания всех элементов систем;
- организации управления и эффективности управления.

2. Специфические законы управления, которые выражают наиболее существенные связи и отношения различных элементов систем управления, законы распределения случайных параметров управления (особенно информационных) и организации их всестороннего обеспечения.

Одним из наиболее важных законов, характеризующих взаимосвязь и взаимозависимость управления и разведывательно-информационного обеспечения, является закон зависимости эффективности управления от информации. Этот закон отражает зависимость между качеством выполнения задач управления и объемом используемой для этого информации. Кроме того,

он позволяет объективно учитывать расходуемое время на принятие решений и требуемый объем используемой для этого информации.

Изучение проблем моделирования информационных процессов при управлении в масштабе времени, близком к реальному, позволило вскрыть следующую закономерность. С увеличением объема поступающей информации, эффективность принимаемого решения быстро растет. Однако после накопления определенного объема информации дальнейшее ее увеличение эффективность управления не повышает, а возрастает время, расходуемое на принятие решения. Более того, для подвижных объектов (к которым относятся и ударно-огневые системы) возникает необходимость учета времени нахождения их в квазистационарном состоянии.

В качестве одного из принципов организации разведывательно-информационного обеспечения в реальном масштабе времени (во времени, близком к реальному), в частности, можно предложить следующий:

Информация должностным лицам органов управления должна поступать в темпе их работы — не раньше и не позже.

Если информация поступает раньше, чем в ней возникает потребность, — она мешает должностному лицу, а если позже — она теряет свою актуальность и ценность для использования в процессе управления.

В связи с постоянно растущими требованиями к сокращению сроков свертывания ударно-огневых систем, возникают временные ограничения эффективности управления. В свою очередь, эти сроки находятся в зависимости от формирования информационного обеспечения подготовки применения функционально-структурных методов поражения объектов. Особенно важны эти требования при автоматизации функционирования системы планирования применения высокоточного оружия большой дальности [6, 7].

Система показателей эффективности функционирования системы информационного обеспечения на примере высокоточного оружия большой дальности позволяет определить номенклатуру синтезируемых параметров, совокупность которых характеризует организационно-технический и оперативно-тактический облик ударно-огневых систем.

Ожидаемый прирост эффективности функционирования ударно-огневых систем представлен в табл. 2.

Данные, приведенные в таблице, свидетельствуют, что синергетические аспекты развития разведывательно-информационного обеспечения применения ударно-огневых систем в высокотехнологичных войнах в настоящее время становятся предметом пристального изучения военных специалистов развитых в экономическом отношении стран.

Научно-методические аспекты моделирования действий ударно-огневых систем в условиях современного боя

В процессе стрельбы на поражение противника идеальным случаем является совпадение центра рассеивания с центром цели. Однако в условиях реального боя при стрельбе с закрытых огневых позиций, как правило, характерными являются ситуации, когда необходимо корректировать огонь артиллерии. Это является следствием того, что наличие ошибок подготовки (повторяющихся ошибок стрельбы) неизбежно приводит к отклонению центра рассеивания от центра цели.

Естественно, что при стрельбе по ненаблюдаемым целям повторяющиеся ошибки стрельбы не могут быть обнаружены стреляющим. Поэтому он вынужден даже одиночные цели обстреливать на нескольких установках прицела, с таким расчетом, чтобы при наличии повторяющейся ошибки цель поражалась. Однако ошибки могут быть большими, тогда цель будет поражаться частично или вовсе не будет поражаться.

В то же время, если возможно корректирование огня в ходе стрельбы на поражение, то это существенно повышает эффективность огня ударно-огневых систем и уменьшает расход снарядов. При корректировании огня целесообразно использовать радиолокационную станцию, корректировщика, беспилотный летательный аппарат и т.д. Последняя ситуация является характерной для современных боевых действий, становясь наиболее востребованной и наиболее успешной с точки зрения реализации результатов её использования в скоротечном высокотемповом бою.

Рассмотрим некоторую типовую боевую ситуацию (по аналогии с описанной в [9]),

Характеристика эффективности функционирования ударно-огневых систем (вариант)

Поражающая система	Разведывательно-информационная система	Автоматизированная система управления	Система всестороннего обеспечения
Направления дальнейшего совершенствования ударно-огневых систем			
<p>Реализовать ГТХ комплексов и систем, ракет и боеприпасов.</p> <p>Вести грамотно боевые действия.</p> <p>Создать поражающие системы с увеличением доли высокоточных, самонаводящихся и самоприцеливающихся боеприпасов.</p> <p>Увеличение дальности досягаемости ударно-огневых систем.</p> <p>Оперативно ликвидировать последствия нанесения ударов и восстанавливать боеспособность</p>	<p>Завершить создание единого информационного пространства, позволяющего осуществлять мониторинг целевой обстановки районов боевых действий.</p> <p>Вести разведку в реальном масштабе времени.</p> <p>Выдавать для банка данных развединформацию, соответствующую требованиям подготовки и нанесения ударов.</p> <p>Обеспечить ведение разведки критически важных объектов на глубину досягаемости ударно-огневых систем</p>	<p>С помощью АСУ всех звеньев управления в автоматизированном (автоматическом) режиме отображать состояние всех элементов ударно-огневых систем и их готовность к применению.</p> <p>Доводить разведанные для всех поражающих систем в реальном масштабе времени.</p> <p>Обеспечить упреждение противника в поражении и завоевании огневого превосходства.</p> <p>Исключить потерю управления системами поражения.</p> <p>Обеспечить доведение командной информации в режиме реального времени</p>	<p>Ракетно-техническое, артиллерийско-техническое, боевое, материальное и другие виды обеспечения бесперебойно осуществляют обеспечение боевой системы вооружения, военной и специальной техники, ракетами, боеприпасами и другими системами поражения</p>
Синергетический эффект			
<p>Достичь эффективности применения (снижения боевого потенциала противника) не менее 50 % по групповым целям</p>	<p>За счёт качества выполнения указанных показателей прирост эффективности может достигнуть до 15–20 %</p>	<p>За счёт качества выполнения оперативных требований к системе прирост эффективности может достигнуть до 14,7 %</p>	<p>Выполнение задач обеспечивает эффективность боевого применения ударно-огневых систем</p>

результаты анализа которой должны позволить получить ответы на следующие вопросы:

а) как при одних и тех же начальных данных факт наличия и отсутствия систем корректирования огня влияет на исход боя;

б) как можно оценить качество корректирования огня.

Типовую боевую ситуацию представим в виде следующего условного тактического фона, используя для удобства вместо термина ударно-огневые системы традиционную терминологию: артиллерия, артиллерийская группа, артиллерийский дивизион и т.д.

В ходе одного из эпизодов общевойскового боя атака «зеленых» была остановлена внезапным интенсивным артиллерийским ог-

нем группировки «синих». В ответ артиллерия «зеленых» в составе двух артиллерийских дивизионов открыла огонь по артиллерийской группе «синих». В свою очередь, артиллерийская группа «синих» после начала ее обстрела прекратила выполнение ранее полученной задачи и, подготовив данные для стрельбы, через несколько минут приступила к ведению ответного огня по группировке артиллерии «зеленых».

По результатам моделирования требуется:

а) определить потери обеих сторон в ходе своеобразной артиллерийской дуэли на различные моменты времени боя;

б) исследовать, как влияет качество корректирования огня на результаты боя.

Данные для моделирования боевой ситуации общевойскового боя

№ п.п.	Наименование параметров моделирования	Значения параметров
1	Количество орудий в артиллерийской группе «синих»	32
2	Скорострельность орудий артиллерийской группы «синих»	3
3	Вероятность поражения орудия артиллерийской группы «зеленых» выстрелом одного орудия	0,05
4	Время, через которое артиллерийская группа «синих» открыла по артиллерийской группе «зеленых» ответный огонь, мин	3
5	Количество орудий в артиллерийской группе «зеленых»	36
6	Скорострельность орудий артиллерийской группы «зеленых», выстр./мин	3,5
7	Вероятность поражения орудия артиллерийской группы «синих» выстрелом одного орудия артиллерийской группы «зеленых»	0,06
8	Момент боя, на котором надо определить потери обеих сторон, мин	10

В качестве исходной информации для моделирования предлагается использовать следующие данные из табл. 3.

Данная ситуация сравнительно полно поддается формализации и может быть описана с помощью известных уравнений Осипова—Ланчестера и Динера [10]. Поэтому математическое представление приведенной ситуации в форме двустороннего полного корректирования огня и полного его отсутствия с обеих сторон с методической точки зрения будет наиболее удобным для рассматриваемого примера. Принимая во внимание данное замечание, условимся, что пределы изменения коэффициентов эффективности корректирования огня могут быть заданы в виде своих предельных значений, а именно:

$$0 \leq \mathfrak{R}_1 \leq 1; \quad 0 \leq \mathfrak{R}_2 \leq 1.$$

В дальнейшем сошлемся на два замечания:

Замечание 1. Ограничения и условия применения модели «хорошо организованного боя» вполне вписываются в тактическую ситуацию, при которой обе стороны осуществляют полное и качественное корректирование огня, исключаящее повторное поражение ранее уничтоженной цели.

Замечание 2. В модели «плохо организованного боя», наоборот, успешным выстрелом считается любой выстрел, поразивший цель, в том

числе уже ранее пораженную. Это обусловлено отсутствием учета информации о поражении целей и не производится перераспределение огня, как в предыдущей модели.

Однако в ходе боевых действий нередко возникают ситуации, когда корректирование огня осуществляет только одна из сторон. Другая сторона в силу определенных ограничений такой возможности не имеет или временно утратила возможность корректировки (находится в глубокой обороне, частично потеряла боеспособность и т.д.).

Для описания таких ситуаций необходимо разработать новые модели боя. Не утрачивая общности и адекватности моделирования, в основу этих моделей, как оказалось, вполне можно положить систему известных уравнений Осипова—Ланчестера и Динера. Правда, интерпретация исходной системы уравнений, применительно к новому содержанию боя, связана с определенной модификацией структуры каждого уравнения.

Для случая, когда корректирование огня осуществляет сторона 1 («зеленые»), модель боя будет иметь такой вид:

$$\begin{cases} \frac{dm_1(t)}{dt} = -\frac{\Lambda_2 m_2(t) m_1(t)}{N_1}; \\ \frac{dm_2(t)}{dt} = -\Lambda_1 m_1(t). \end{cases} \quad (1)$$

Когда корректирование огня осуществляется только стороной 2 («синими»), модель боя примет вид

$$\begin{cases} \frac{dm_1(t)}{dt} = -\Lambda_2 m_2(t); \\ \frac{dm_2(t)}{dt} = -\frac{\Lambda_1 m_1(t) m_2(t)}{N_2}. \end{cases} \quad (2)$$

Обе системы уравнений имеют аналитическое решение, однако достаточно громоздкое, поэтому в случае необходимости (при наличии в составе ударно-огневой системы соответствующих вычислительных средств) проще воспользоваться одним из методов численного интегрирования.

Примечание. Рассмотренные ситуации и соответствующие им системы уравнений описывают крайние случаи, связанные с наличием или отсутствием у сторон возможности корректирования огня. При этом если корректирование имеет место, оно всегда эффективно на 100%, т.е. как только одна цель поражена, огонь сразу переносится на другую цель.

Однако в условиях реального боя ситуация более сложная и требует еще одной адекватной модификации системы рассмотренных уравнений.

С учетом замечаний, касающихся вопросов приближения моделируемой ситуации к реальной, представляет интерес модель боя, в которой эффективность корректирования огня можно задавать соответствующими коэффициентами \mathfrak{R}_1 и \mathfrak{R}_2 , значения которых лежат в пределах от 0 до 1:

$$\begin{cases} \frac{dm_1(t)}{dm} = -\Lambda_2 m_2(t) \frac{m_1(t) + \mathfrak{R}_2(N_1 - m_1(t))}{N_1}; \\ \frac{dm_2(t)}{dm} = -\Lambda_1 m_1(t) \frac{m_2(t) + \mathfrak{R}_1(N_2 - m_2(t))}{N_2}. \end{cases} \quad (3)$$

Примечание. Данная система уравнений является наиболее общей формой записи моделей динамики боя. При $\mathfrak{R}_1 = \mathfrak{R}_2 = 1$ получаем уравнения Осипова—Ланчестера, при $\mathfrak{R}_1 = \mathfrak{R}_2 = 0$ — уравнения Динера. Случаи $\mathfrak{R}_1 = 1, \mathfrak{R}_2 = 0$ и $\mathfrak{R}_1 = 0, \mathfrak{R}_2 = 1$ описываются соответственно системами уравнений (1) и (2).

Аналитического решения система (3) не имеет, поэтому необходимо использовать для решения методы численного интегрирования.

Кроме того, данную систему можно исследовать на основе её фазового портрета.

Предварительно рассмотрим фазовые траектории системы (1), как более простой случай.

Из уравнений динамики боя, в том числе и системы (1), видно, что значения $m_1(t)$ и $m_2(t)$ убывают при увеличении t . Если первым достигает нулевого значения $m_1(t)$, то естественно считать, что бой выиграла сторона 2, в противном случае — сторона 1.

Назовем множество начальных условий (N_1, N_2) , при которых бой выигрывает сторона i ($i = 1, 2$), областью преимущества стороны i .

Множество начальных условий (N_1, N_2) , при которых $m_1(t)$ и $m_2(t)$ достигают нуля одновременно, назовем граничной линией. Она разделяет области преимущества сторон.

Система (1), как уже отмечалось, получается из системы (3) при $\mathfrak{R}_1 = 1$ и $\mathfrak{R}_2 = 0$.

Избавимся в системе (1) от времени и получим уравнение с разделяющимися переменными:

$$\frac{dm_1(t)}{dm_2(t)} = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1 N_1} m_2(t) \Rightarrow dm_1 = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1 N_1} m_2 dm_2.$$

После интегрирования имеем

$$m_1 = \frac{\Lambda_2 m_2^2}{2\Lambda_1 N_1} + C. \quad (4)$$

С учетом начальных данных $m_1(0) = N_1$ и $m_2(0) = N_2$ находим C :

$$C = N_1 - \frac{\Lambda_2 N_2^2}{2\Lambda_1 N_1}.$$

Подставив последнее выражение в уравнение (4), находим фазовую траекторию системы (1):

$$m_1 = \frac{\Lambda_2 (m_2^2 - N_2^2)}{2\Lambda_1 N_1} + N_1.$$

При условии $m_1 = m_2 = 0$ из последнего выражения находим граничную линию для системы (1):

$$N_1 = N_2 \sqrt{\Lambda_2 / 2\Lambda_1}.$$

Фазовые траектории системы (1) при $\Lambda_1 = 10$ и $\Lambda_2 = 15$, проходящие через ряд точек (N_1, N_2) , можно изобразить графически.

Анализируя траекторию, непосредственно примыкающую на своем среднем участке к граничной линии, можно заметить, что вначале бой развивается с некоторым преимуществом для стороны 2 за счет более высокой скорострельности Λ_2 . Однако затем за счет более высокой степени корректирования огня ход боя меняется в пользу стороны 1.

Теперь найдем первый интеграл системы (3), действуя так же, как и в случае с системой (1):

$$\begin{aligned} & \frac{\Lambda_1 N_1}{1 - \mathfrak{R}_2} \left[m_1 - \frac{\mathfrak{R}_2 N_1}{1 - \mathfrak{R}_2} \ln \left(m_1 + \frac{\mathfrak{R}_2 N_1}{1 - \mathfrak{R}_2} \right) \right] = \\ & = \frac{\Lambda_2 N_2}{1 - \mathfrak{R}_1} \left[m_2 - \frac{\mathfrak{R}_1 N_2}{1 - \mathfrak{R}_1} \ln \left(m_2 + \frac{\mathfrak{R}_1 N_2}{1 - \mathfrak{R}_1} \right) \right] + C. \end{aligned} \quad (5)$$

Отсюда с учетом начальных данных $m_1(0) = N_1$ и $m_2(0) = N_2$ находим значение C :

$$\begin{aligned} C = & \frac{\Lambda_1 N_1}{1 - \mathfrak{R}_2} \left(N_1 - \frac{N_1 \mathfrak{R}_2 \ln N_1}{1 - \mathfrak{R}_2} \right) - \\ & - \frac{\Lambda_2 N_2}{1 - \mathfrak{R}_1} \left(N_2 - \frac{N_2 \mathfrak{R}_1 \ln N_2}{1 - \mathfrak{R}_1} \right). \end{aligned}$$

При $m_1 = m_2 = 1$ из последнего выражения получаем уравнение граничной линии, которая и в этом случае оказывается прямой:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{1 - \mathfrak{R}_2}{1 - \mathfrak{R}_1} \sqrt{\frac{\Lambda_2 (1 - \mathfrak{R}_1 + \mathfrak{R}_1 \ln \mathfrak{R}_1)}{\Lambda_1 (1 - \mathfrak{R}_2 + \mathfrak{R}_2 \ln \mathfrak{R}_2)}}.$$

Ввиду громоздкости формулы (5) при построении фазовых траекторий целесообразно использовать приближенные методы. Используя метод Эйлера, систему (4) преобразуем к виду

$$\begin{cases} m_1(t + \Delta t) = m_1(t) - \frac{\Lambda_2}{N_1} m_2(t) \times \\ \times [m_1(t) + \mathfrak{R}_2(N_1 - m_1(t))] \Delta t; \\ m_2(t + \Delta t) = m_2(t) - \frac{\Lambda_1}{N_2} m_1(t) \times \\ \times [m_2(t) + \mathfrak{R}_1(N_2 - m_2(t))] \Delta t; \\ m_1(0) = N_1, m_2(0) = N_2. \end{cases}$$

Расчет прекращается, когда m_1 или m_2 на очередном шаге станет меньше нуля.

Следовательно, проведенный анализ различных ситуаций с помощью математического моделирования позволяет повысить оперативность принятия решений в ходе боевых действий с применением ударно-огневых систем. При этом необходимо выполнять ряд обязательных требований, определяющих некоторые аспекты семантических основ научно-методического сопровождения процесса разработки модели боя с учетом корректирования огня и маневра артиллерии.

Заключение

Таким образом, результаты анализа обсуждаемых проблемных вопросов свидетельствуют, что обеспечение требуемой эффективности применения ударно-огневых систем с учетом корректирования огня и маневра в ходе решения тактических задач не представляется тривиальным. Выходом из сложившейся ситуации может быть достаточно широко используемый в научных исследованиях метод математического моделирования.

Повышение эффективности применения ударно-разведывательных систем в условиях современных боевых действий можно достигнуть, используя возможности автоматизированных систем управления. При этом основные направления повышения эффективности применения ударно-огневых систем в высокотехнологичных войнах в настоящее время в значительной степени определяются качеством разведывательно-информационного обеспечения. Для успешного решения этой проблемы необходимо целенаправленно развивать методические основы разведывательно-информационного обеспечения управления применением ударно-огневых систем в военных действиях рода войск и создания автоматизированных технологий формирования управленческих решений. Это предполагает формализацию процесса управления и построение соответствующих моделей для формирования вариантов решений по управлению боевым применением разнородных сил и средств в режиме реального времени.

Проблема согласования и координации функционирования подсистем, обеспечивающих гарантированное поражение противника во всем диапазоне боевых задач, в современ-

ную информационную эпоху требует проведения дополнительных теоретических исследований. Необходимо сосредоточить внимание на разработке новых моделей боевых действий, на поиске эффективных методов комплексного применения ударно-огневых систем, беспилотных разведывательных и ударных дронов, а также активизировать научно-прикладные работы в области сетецентрического управления.

В процессе изложения выявлены и показаны наиболее характерные ситуации, встречающиеся в процессе реального боя, предложены простые математические модели, которые достаточно адекватно позволяют описать особенности применения ударно-огневых систем в условиях современного боя.

Литература

1. Кежаев В.А., Кулешов Ю.В., Суворовкин С.В. Актуальные проблемы развития теории управления группировками войск (сил) в интересах повышения эффективности огневого поражения противника с целью локализации международного вооруженного конфликта // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2018. № 1 (101). С. 24–32.
2. Кежаев В.А. Современные взгляды на место и роль новых технологий моделирования в военном деле // Сборник научных трудов Межотраслевой научно-практической конференции ВОКОР-2021. — СПб.: НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия». 2022. С. 125–129.
3. Бобриков А.А. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии: Военно-теоретический труд. — СПб.: Галлея Принт, 2006. 421 с.
4. Цуканов В.П., Кежаев В.А. Основные направления повышения эффективности применения ударных и огневых средств (систем) в высокотехнологичных войнах // Труды XXV Всероссийской НПК «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Пленарные доклады. 2022. С. 35–45.
5. Борисов Е.Г., Евдокимов В.И. Высокоточное оружие и борьба с ним. 2-е изд. — СПб.: Изд-во «Лань», 2022. 496 с.
6. Кежаев В.А. Влияние информационного обеспечения на эффективность управления в задачах применения высокоточных средств поражения // Сборник научных трудов Межотраслевой научно-практической конференции ВОКОР-2022. Выпуск № 25. Том 2, часть 2, Секция 2. — СПб.: НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия». 2022. С. 207–210.
7. Замысел создания Единого разведывательно-информационного пространства Вооруженных Сил Российской Федерации, утвержденный Министром обороны Российской Федерации 4 июля 2014 года.
8. Концепция развития единого информационного пространства Вооруженных Сил Российской Федерации на период до 2027 года.
9. Поленин В.И., Сущенко 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 // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). 2015. № 8 (17). С. 167–171.
10. Волгин Н.С., Махров И.В., Юровский В.А. Исследование операций. Часть I. Аналитические методы моделирования действий сил ВМФ. — Л.: ВМА, 1978. 400 с.