

УДК 004.94:[621.391.8+355.421]

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ТАКТИЧЕСКОМ ЗВЕНЕ УПРАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПОДАВЛЕНИЯ

Т.В. ОШМЯНА

Военная академия Республики Беларусь
(г. Минск, Беларусь)

E-mail: tanya.oshmyana@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена задача имитации информационного взаимодействия в тактическом звене управления «рота – взвод» при ведении боевых действий. Предложена аналитико-имитационная стохастическая динамическая дискретно-событийная математическая модель, объединяющая детерминированный расчет параметров УКВ-радиолинии (с учетом рельефа местности по цифровой карте, метеоусловий, радиопомех) и вероятностную модель обработки сообщений на основе марковских цепей с правилом принятия решения «две последовательные успешные передачи из трех». Приведены результаты вычислительных экспериментов, подтверждающие адекватность модели и возможность количественной оценки живучести системы связи. Предложенный подход позволяет повысить достоверность результатов моделирования боевых действий на 17–21% по сравнению с существующими аналогами, не учитывающими состояние каналов связи.

Abstract. The problem of simulating information interaction in the tactical control link “company – platoon” during combat operations is considered. An analytical–simulation stochastic dynamic discrete-event mathematical model is proposed. It combines a deterministic calculation of VHF radio link parameters (taking into account terrain relief using a digital map, weather conditions, radio interference) and a probabilistic message processing model based on Markov chains with a decision rule “two consecutive successful transmissions out of three”. The results of computational experiments confirming the adequacy of the model and the possibility of quantitative assessment of communication system survivability are presented. The proposed approach improves the reliability of combat simulation results by 17–21% compared to existing analogues that do not take into account the state of communication channels

Введение

Эффективность управления подразделениями в современном общевойсковом бою критически зависит от устойчивости и достоверности радиосвязи. В существующих отечественных системах моделирования боевых действий (СМБД) традиционно принимается допущение об идеальных каналах связи: команды и доклады передаются без искажений и всегда доставляются адресату независимо от изменений боевой обстановки [1]. Это приводит к систематическому завышению достоверности результатов моделирования и снижению их прогностической ценности.

В зарубежных аналогах (JWARS, «Злочень», «Спектр») декларируется учет характеристик систем связи, однако детализированные математические модели и алгоритмы, необходимые для их реализации в условиях конкретной тактической обстановки и архитектуры СМБД Республики Беларусь, в открытых источниках отсутствуют [2–4].

Целью настоящей работы является разработка математической модели информационного взаимодействия в тактическом звене управления «рота – взвод», учитывающей динамическое влияние рельефа местности, метеоусловий, радиоэлектронного подавления и пространственного маневра подразделений на качество управления.

Модель информационного взаимодействия

Общая математическая модель информационного взаимодействия (ИВ) представляется в виде:

$$M_m = F(f_D; f_O)$$

где f_D – функция передачи-приема сообщений на основе модели радиолинии УКВ-диапазона; f_O – функция обработки сообщений на основе дискретного марковского процесса.

Структурная схема тракта передачи сигнала между абонентами в условиях РП противником представлена на рисунке 1, где отдельно выделен блок воздействия радиопомех.

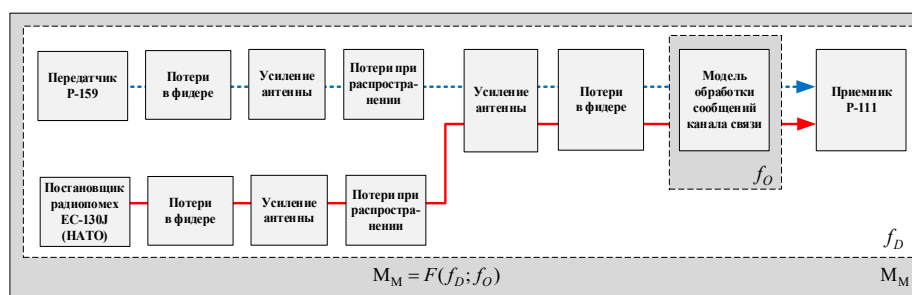


Рис. 1. Блок-схема тракта прохождения при радиоэлектронном подавлении противником

Модель радиоканала

Мощность полезного сигнала на входе приемника Pr [дБ] рассчитывается по формуле:

$$Pr = Pt - lft - lfr + Gt + Gr - W_{\Sigma}, \quad (1)$$

где Pt, Pr – мощность передатчика, lft, lfr – потери в фидерах, Gt, Gr – коэффициенты усиления антенн, W_{Σ} – суммарные потери в радиолинии.

Суммарные потери включают:

- затухание в свободном пространстве W_0 ;
- дифракционные потери на рельефе W_{Surface} (метод Эпштейна–Петерсона);
- затухание в лесных массивах W_{Forest} и городской застройке W_{City} ;
- ослабление в гидрометеорах (дождь, туман) $W_{\text{Rain}}, W_{\text{Clouds}}$.

На основе рассчитанного превышения сигнала над уровнем помех определяется вероятность достоверного приема одной посылки $p(R)$ с использованием табулированной функции Крампа.

Модель обработки сообщений (протокол «две из трех»)

Для имитации сеанса связи принят протокол без обратной связи с правилом «две последовательные успешные передачи из трех возможных». Марковская цепь состояний имеет граф [5, 6], показанный на рис.2.

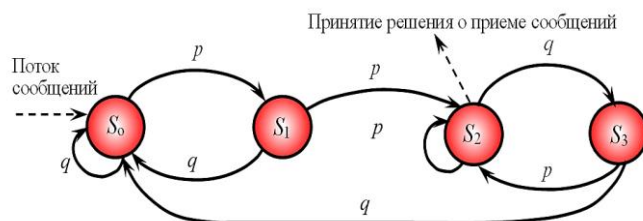


Рис. 2. Граф состояний и переходов процесса обработки сообщений (дублирование сообщений)

Вероятность доставки сообщения (стационарная вероятность нахождения в целевом состоянии (S_2)) определяется выражением:

$$\pi_2 = \frac{p^2}{1 - p + p^2}, q = 1 - p.$$

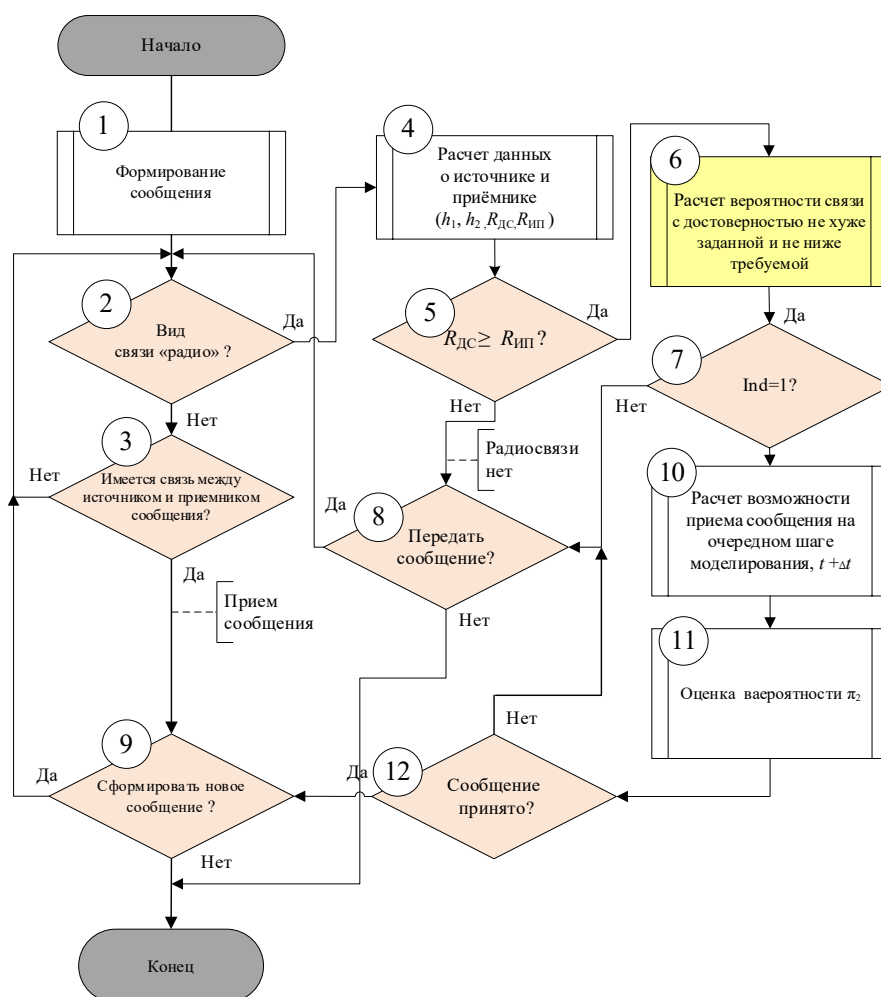
При $p = 0,8$ (тактический фон) $\pi_2 \approx 0,762$, что значительно выше вероятности успеха при однократной передаче.

Алгоритм имитации сеанса радиосвязи

Разработанный алгоритм (блок-схема на рис. 3) реализует следующий порядок:

- 1.Инициация сообщения, выбор средства связи (УКВ-радиостанция).
- 2.Расчет параметров радиолинии с учетом текущих координат, цифровой карты местности, метеоусловий и помеховой обстановки.
- 3.Определение вероятности достоверного приема одной посылки $p(R)$.
- 4.Моделирование трех последовательных посылок с вероятностью успеха p .

6. Фиксация результата («сообщение доставлено» / «сообщение потеряно»).



Шаг модельного времени принят равным 3 с, что соответствует максимальной длительности передачи одного сообщения (три посылки) и согласуется с дискретностью изменения обстановки в СМБД.

Влияние рельефа местности

На рис. 4, а показан фрагмент цифровой карты с моделированием маневра подразделений. В момент времени t_1 между подразделениями 1 и 2 присутствует возвышенность, что приводит к отсутствию прямой видимости и нулевой вероятности связи. После завершения маневра в момент t_2 возвышенность перестает быть препятствием – вероятность достоверного приема достигает 0,98 (оценка «отлично»).

Решение такой задачи было направлено на разработку методики прогнозной оценки влияния планируемого маршрута командирского подразделения на пространственные возможности управления подчиненными элементами в динамике боя. Актуальность задачи подтверждается анализом современного опыта боевых действий, который демонстрирует критическую зависимость успеха от качества управления, определяемого, в том числе, возможностями радиосвязи в условиях сложного рельефа и РП противником.

Введен в сценарий воздушный постановщик прицельных помех EC-130J. При отношении сигнал/помеха ниже порога модель имитирует смену рабочей частоты на резервную, что позволяет сохранить связь, рисунок 4, б.

Оценка живучести системы связи

Разработанная модель позволяет получать не только точечные оценки качества связи (вероятность доведения сообщения $F(\xi)$ в фиксированный момент), но и интегральную характеристику – **живучесть системы связи** за весь период моделирования боя (2).

Живучесть G может быть определена, как доля времени (доля ключевых событий), в течение которой обеспечивается устойчивая связь между заданными абонентами:

$$G = T_{\text{св}} / T_{\text{общ}} \quad (2)$$

где G – показатель живучести системы связи за рассматриваемый период; $T_{\text{св}}$ – суммарное время в ходе выполнения конкретной тактической задачи (или на маршруте), когда качество связи было удовлетворительным, т. е. когда вероятность доведения сообщения $F(\xi)$ была не ниже требуемого порога (например, $F(\xi) \geq 0,9$). Это время, когда система связи *жива* с точки зрения выполнения задачи

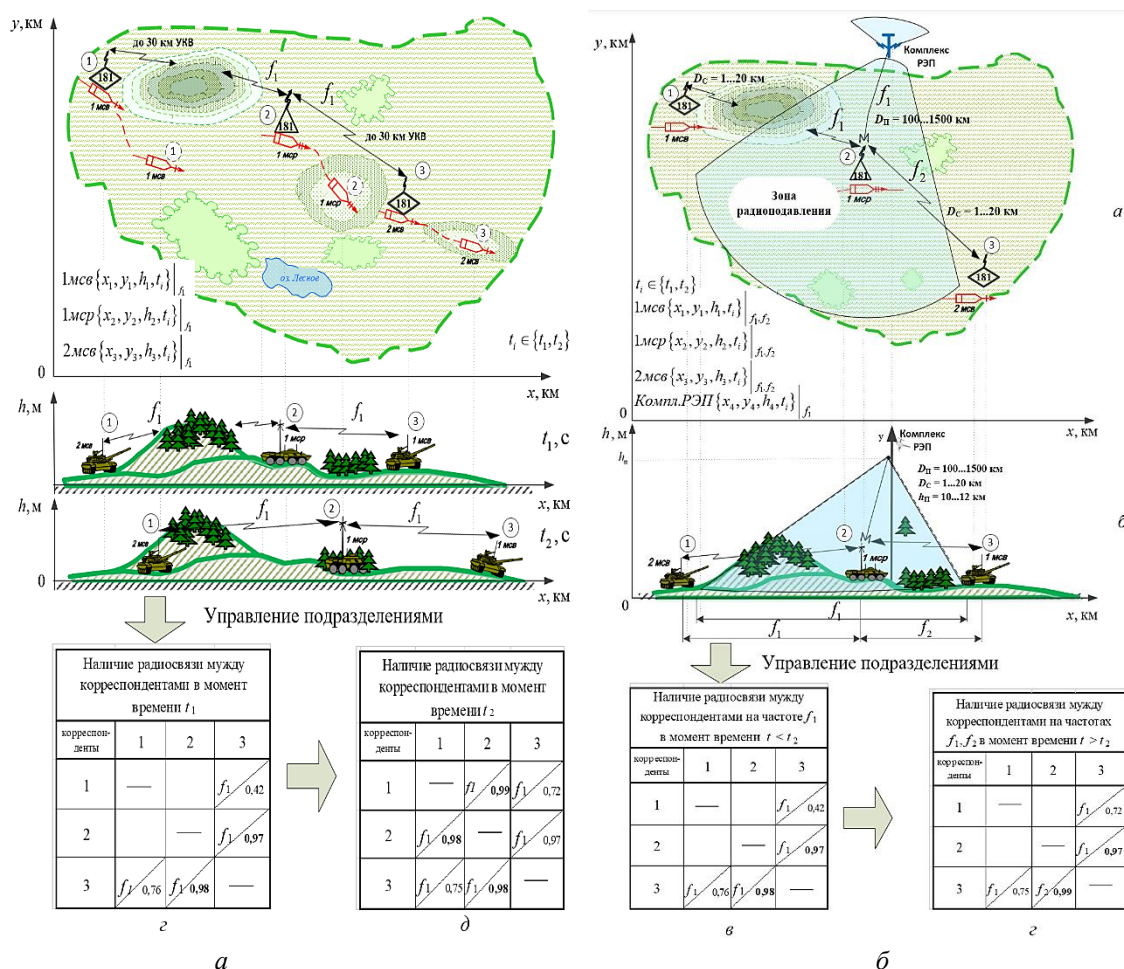


Рис. 4. Оценка влияния изменений боевой обстановки и местности на вероятность доставки сообщений: *а* – при учете рельефа местности; *б* – при учете рельефа местности и радиопомех.

Разработанная модель [7,8] позволяет получать не только точечные оценки качества связи (вероятность доведения сообщения $F(\xi)$ в фиксированный момент), но и интегральную характеристику – **живучесть системы связи** за весь период моделирования боя.

Живучесть G может быть определена, как доля времени (доля ключевых событий), в течение которой обеспечивается устойчивая связь между заданными абонентами:

$$G = T_{\text{св}} / T_{\text{общ}}$$

где G – показатель живучести системы связи за рассматриваемый период; $T_{\text{св}}$ – суммарное время в ходе

выполнения конкретной тактической задачи (или на маршруте), когда качество связи было удовлетворительным, т. е. когда вероятность доведения сообщения $F(\xi)$ была не ниже требуемого порога (например, $F(\xi) \geq 0,9$). Это время, когда система связи *жива* с точки зрения выполнения задачи; $T_{\text{общ}}$ – общая продолжительность выполнения конкретной тактической задачи (или временной отрезок, на котором оценивается живучесть, например, время выдвижения роты в район сосредоточения).

Пример: бой (марш) длился 60 минут ($T_{\text{общ}} = 60$ мин). Из них только 45 минут связь была устойчивой и обеспечивала управление ($T_{\text{св}} = 45$ мин). Тогда живучесть $G=45/60=0,75$ (75%). Это означает, что четверть времени управление войсками было затруднено из-за проблем со связью.

Для интерпретации полученных значений живучести предложена классификация, представленная в таблице 2.5.

Таблица 1. Классификация степени обеспечения управления войсками по значению показателя живучести G

Степень обеспечения управления войсками	Живучесть системы связи G , %
В полном объеме	80–100
Затруднено	60–80
Нарушено	30–60
На грани срыва	20–30
Сорвано	менее 20

Предложенная шкала позволяет перейти от численного значения живучести к качественной оценке состояния управления, что важно для лиц, принимающих решения.

Для статистического подтверждения работоспособности методики и оценки типичных значений показателя P была проведена серия из 10 вычислительных экспериментов с различными тактическими ситуациями. Условия экспериментов варьировались по типу рельефа местности и наличию радиоэлектронного подавления (РП). Результаты экспериментов представлены в таблице 2. Для десяти тактических сценариев рассчитан показатель P – доля маршрута, на которой управление не гарантировано с требуемой достоверностью ($p(R) < 0,98$).

Для количественной оценки эффективности был сформирован минимизируемый показатель P :

$$P = \frac{l(a-b) \cdot 100\%}{l(L_1)} \rightarrow \min, t \in t_6.$$

Среднее значение P по всем сценариям составило 18,6 %. После оптимизации маршрута (выбора пути внутри зоны устойчивого управления) показатель P снижается до 0 %, что подтверждает эффективность разработанной методики.

Таблица 2. Результаты оценки показателя эффективности P для десяти тактических сценариев

№ сценария	Краткая характеристика сценария (основные влияющие факторы)	Длина исходного маршрута l_1 , км	Протяженность участка потери связи l_1/C , км	Показатель эффективности P , %
1	Равнинная открытая местность, радиопомехи (РП) отсутствует.	10,2	0,51	5
2	Лесисто-холмистая местность, РП отсутствует. Наличие отдельных высотных препятствий.	7,8	0,86	11
3	Лесистая местность с водной преградой, ведение РП станций наземного базирования.	9,5	1,33	14
4	Сильно пересеченная местность (овраги, высоты), помехи отсутствуют.	6,3	0,95	15,1

№ сценария	Краткая характеристика сценария (основные влияющие факторы)	Длина исходного маршрута l_1 , км	Протяженность участка потери связи l_1/C , км	Показатель эффективности P , %
5	Пригородная местность (здания, низкие высоты), ведение прицельных помех БПЛА.	8,1	1,38	17
6	Горно-лесистая местность, РП отсутствуют. Значительное влияние рельефа.	5,7	1,14	20

Повышение адекватности СМБД

Методом экспертных оценок (10 специалистов, коэффициенты компетентности учтены) установлено, что внедрение разработанной модели информационного взаимодействия повышает адекватность вырабатываемых рекомендаций СМБД на **17–21 %** (доверительная вероятность 0,99).

Заключение

В работе предложена математическая модель информационного взаимодействия в тактическом звене управления, которая:

- комплексно учитывает рельеф местности, метеоусловия, радиоэлектронное подавление и маневр подразделений;
- использует стохастический протокол «две последовательные успешные передачи из трех», обоснованный нормативными документами и классической теорией кодирования;
- позволяет количественно оценивать живучесть системы связи и оптимизировать маршруты движения подразделений;
- повышает адекватность результатов имитационного моделирования боевых действий на 17–21 %.

Результаты внедрены в имитационный модельный комплекс «Вилия-О» и используются в образовательном процессе Военной академии Республики Беларусь [9].

Список использованных источников

- Ошмяна Т.В., Булойчик В.М. Моделирование информационного взаимодействия в тактических подразделениях Сухопутных войск // Сборник научных статей Военной академии Республики Беларусь. – 2022. – № 42. – С. 155–164.
- Объединенная система моделирования боевых действий JWARS США // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 11. – С. 27–32.
- Системы компьютерного моделирования в сухопутных войсках Германии (2018) [Электронный ресурс] / С. Корчагин // Интернет-издание. – 2018. – URL: https://factmil.com/publ/strana/germanija/sistemy_kompjuternogo_modelirovanija_v_sukhoputnykh_vojskakh_germanii_2018/41-1-0-1315 (дата обращения: 23.05.2024).
- ОАО «НПО РусБИТех» [Электронный ресурс] : официальный сайт. – 2010. – URL: <http://rusbitech.ru> (дата обращения: 07.07.2023).
- Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов. – 2-е изд. – М.: Радио и связь, 1986. – 304 с.
- Гойхман Э.Ш., Лосев Ю.И. Передача информации в АСУ. – М.: Связь, 1976. – 280 с.
- Ошмяна, Т. В. Оценка влияния условий боевой обстановки на воспроизведение информационного взаимодействия в системе моделирования боевых действий / Т. В. Ошмяна, В. М. Булойчик, А. В. Герцев // Наука и военная безопасность. Научно-теоретическое приложение к журналу «Армия». – 2024. – № 2 (80). – С. 14–20.
- Ошмяна, Т. В. Методика применения системы моделирования боевых действий с предложенной моделью информационного взаимодействия / Т. В. Ошмяна // Сборник научных статей Военной академии Республики Беларусь. – 2024. – № 48. – С. 88–99.
- Исследование вопросов внедрения компьютерной сетевой системы подготовки руководителей тактического звена управления : отчет о НИР (заключительный) : шифр «Вилия-О» / рук. В. М. Булойчик ; Военная академия Республики Беларусь. – Минск, 2024. – 34 с. + Прил. – Инв. № 604223.