УДК: 004.942

СИСТЕМА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ БОЕВЫМИ ДЕЙСТВИЯМИ В ТАКТИЧЕСКОМ ЗВЕНЕ

И.В. Владимиров, А.А. Ерыгин, М.В. Богатырев, С.А. Житенѐв, А.М. Сепкин
(Воронеж)

Сетецентрическое управление боевыми действиями в тактическом звене (ТЗ) является одним из ключевых факторов повышения боевой мощи тактических воинских формирований (ТВФ) [1-3]. Оно осуществляется должностными лицами (ДЛ) ТВФ с применением комплексов средств автоматизации (КСА) и реализуется в виде множества перекрывающихся во времени управляющих процессов. Известные подходы к моделированию управления боевыми действиями в ТЗ [4-6] основаны на рассмотрении каждого из указанных управляющих процессов в отдельности без учета их взаимовлияния. Вместе с тем, при сетецентрическом управлении боевыми действиями в ТЗ взаимовлияние управляющих процессов становится наиболее значимым, что является следствием, с одной стороны, возрастания числа управляющих процессов, а с другой стороны, ограниченности круга участвующих в их реализации ДЛ и КСА. В связи с этим игнорирование взаимовлияния управляющих процессов при моделировании может привести к снижению достоверности оценок их вероятностно-временных характеристик и, как следствие, к ошибочным выводам об эффективности сетецентрического управления боевыми действиями в ТЗ.

В докладе представлены результаты разработки системы имитационного моделирования сетецентрического управления боевыми действиями в ТЗ, позволяющей учитывать множественность и взаимовлияние управляющих процессов.

В основу разработки системы моделирования положен процессно-ориентированный (дискретно-событийный) подход [7]. С учетом декомпозиции сетецентрического управления боевыми действиями в ТЗ, проведенной согласно указанному подходу, в состав предлагаемой системы моделирования включены модели трех уровней – модель процессов управления (М1), модель решения задач управления (М2) и модель передачи команд управления (М3) (рисунок 1).

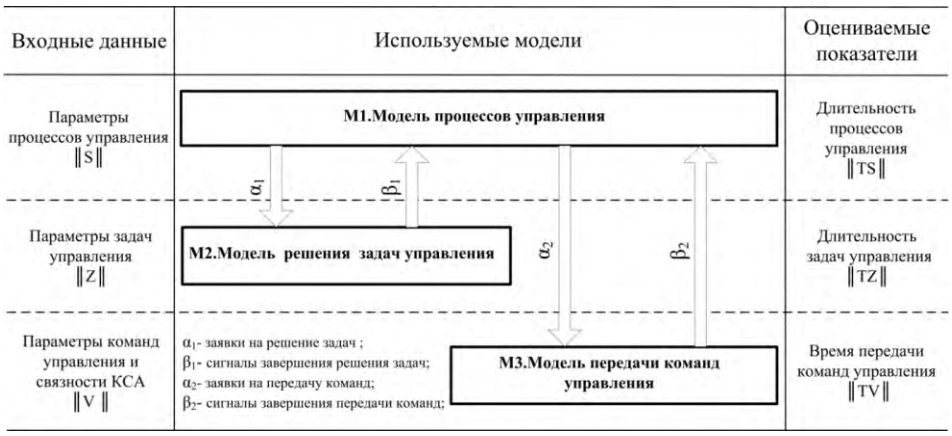


Рис. 1 – Предложения по составу и структуре системы моделирования

Модель М1 предназначена для моделирования процессов управления, реализуемых в ТВФ в ходе ведения боевых действий, например, процессов управления огневым поражением и маневром войск, сбора данных обстановки, оповещения и т.п.

Исходными данными модели являются параметры $\|S\|$ моделируемых процессов управления, перечень которых представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень параметров $\|S\|$ моделируемых процессов управления

Обозначение	Содержание
S_0	время начала процесса управления, мин
S_1	интенсивность процесса управления, 1/мин
S_3	алгоритм процесса управления

Алгоритм S_3 процесса управления задается в виде ориентированного графа $S_3 = (\|S_{31}\|, \|S_{32}\|)$, вершинами $\|S_{31}\|$ которого являются решаемые задачи управления, а ребрами $\|S_{32}\|$ – команды управления. Задачи $\|S_{31}\|$ и команды $\|S_{32}\|$ управления ассоциированы с участвующими в процессе управления ДЛ $\|D\|$ и КСА $\|C\|$.

Одновременно может моделироваться несколько процессов управления. Моделирование отдельно взятого процесса управления осуществляется в следующем порядке (рисунок 2).

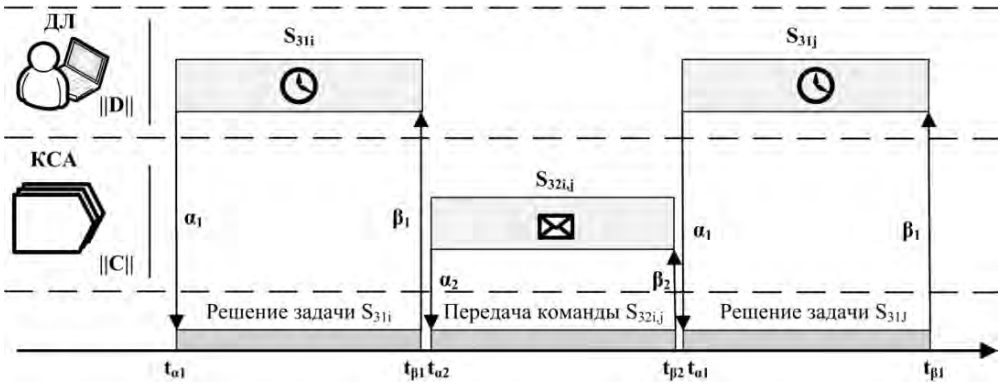


Рис. 2 – Моделирование процессов управления

Начиная с момента S_0, проводится последовательный перебор задач $\|S_{31}\|$ и команд $\|S_{32}\|$ управления в порядке, определяемом алгоритмом S_3. При этом при выборе очередной задачи управления из множества $\|S_{31}\|$ моделирование процесса управления приостанавливается и выдается заявка α_1 на решение выбранной задачи управления в модель М2, а при выборе очередной команды управления из множества $\|S_{32}\|$ – заявка α_2 на передачу выбранной команды управления в модель М3. Моделирование процесса управления возобновляется при поступлении сигнала β_1 об окончании решения задачи управления или сигнала β_2 об окончании передачи команды управления от моделей М2 и М3, соответственно, и продолжается до полного перебора всех задач $\|S_{31}\|$ и команд $\|S_{32}\|$ управления. Цикличность моделирования процесса управления устанавливается параметром S_1. По результатам моделирования оценивается длительность моделируемых процессов управления $\|TS\|$, рассчитываемая как разность времен их начала и окончания.

Модель М2 предназначена для моделирования процессов решения задач управления ассоциированными ДЛ $\|D\|$. К задачам управления, например, относятся действия ДЛ по анализу обстановки, выработке и принятию решений, подготовке различных документов, выполнению расчетов и т.п.

Исходными данными модели являются параметры $\|Z\|$ задач управления, перечень которых представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры задач управления $\|Z\|$

Обозначение	Содержание
Z_1	минимальное время решения ДЛ задачи управления, мин
Z_2	максимальное время решения ДЛ задачи управления, мин

В модели процесс решения задач управления каждым из ассоциированных ДЛ представляется в виде одноканальной системы массового обслуживания с бесконечным временем ожидания и бесконечной очередью (G/G/1/∞). Моделирование процесса решения задач управления в рамках системы массового обслуживания осуществляется в следующем порядке (рисунок 3).

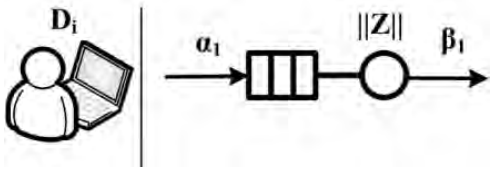


Рис. 3 – Моделирование процесса решения задач управления

На вход системы поступают заявки α_1 на решение задач управления. При этом поступающие заявки могут относиться к разным процессам управления. Если система занята обслуживанием, поступившие заявки ставятся в очередь. Обслуживание заявок проводится по схеме FCFS/FIFO (пришедший первым обслуживается первым). Время обслуживания очередной заявки устанавливается случайным образом в границах, определяемых параметрами Z_1 и Z_2. По окончания обслуживания заявки формируется сигнал β_1 об окончании решения ДЛ задачи управления, который передается в модель М1. По результатам моделирования оценивается длительность $\|TZ\|$ решения ДЛ задач управления. При этом учитывается дополнительная задержка в решении задач управления, обусловленная возможным участием ДЛ сразу в нескольких процессах управления.

Модель М3 предназначена для моделирования процессов передачи команд управления между ассоциированными с ними КСА-отправителями и КСА-получателями из множества $\|C\|$. К командам управления, например, относятся приказы, распоряжения, указания, донесения и т.п.

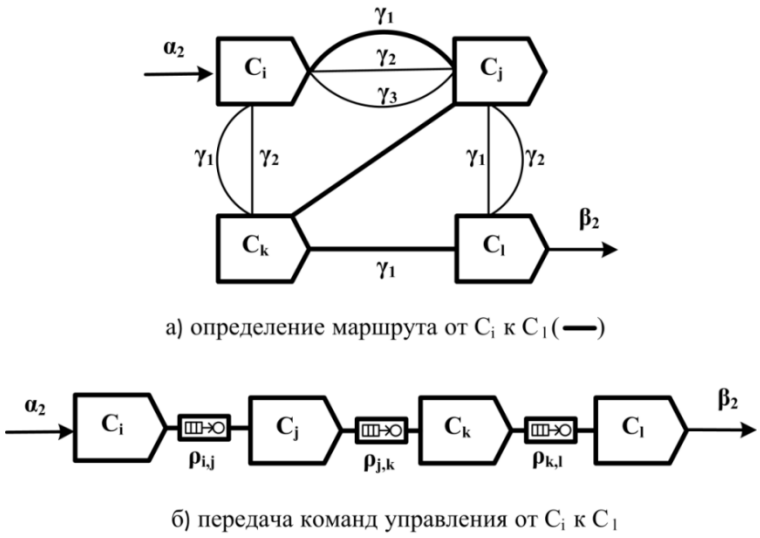
Исходными данными модели являются параметры $\|V\|$ команд управления и связности КСА, перечень которых представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры команд управления и связности ПТК $\|V\|$

Обозначение	Содержание
V_1	минимальный объем команды управления, байт
V_2	максимальный объем команды управления, байт
V_3	связности КСА

Связность КСА задается в виде неориентированного взвешенного мультиграфа $V_3 = (\|C\|, \|V_{31}(\gamma, \rho)\|)$, вершинами которого являются КСА $\|C\|$, а ребрами – каналы связи $\|V_{31}(\gamma, \rho)\|$, характеризуемые качеством (метрикой) γ и пропускной способностью ρ. Использование графа связности КСА V_3 обеспечивает унифицированное описание систем связи различных архитектур, образованных транспортными сетями, сетями радиодоступа и сетями прямых связей.

Моделирование процессов передачи команд управления осуществляется в следующем порядке (рисунок 4).



а) определение маршрута от C_i к C_l (—)

б) передача команд управления от C_i к C_l

Рис. 4 – Моделирование процесса передачи команд управления

На вход модели поступают заявки α_2 на передачу команд управления от КСА-отправителя к КСА-получателю. Объем v каждой из передаваемых команд управления устанавливается случайным образом в границах, определяемых параметрами V_1 и V_2. С использованием данных графа связности V_3 сначала определяется маршрут передачи команды управления от КСА-отправителя к КСА-получателю по алгоритму Дейкстры [8]. Затем моделируется передача команд управления в каналах связи между КСА на маршруте. При этом каждый канал связи представляется одноканальной системой массового обслуживания с бесконечным временем ожидания и бесконечной очередью (G/G/1/∞). Если канал связи занят передачей, поступившие в канал команды управления ставятся в очередь. Обслуживание команд управления проводится по схеме FCFS/FIFO (пришедший первым обслуживается первым). Время обслуживания очередной команды управления в канале связи определяется отношением v/ρ. По достижении команды управления КСА-получателя формируется сигнал β_2 об окончании передачи, который передается в модель М1. По результатам моделирования

оценивается время $\|TV\|$ передачи команд управления на направлениях между КСА-отправителя и КСА-получателя, рассчитываемое как разность времен поступления заявки α_2 и выдачи сигнала β_2

Представленная система моделирования реализована в среде AnyLogic 8.5.2 с использованием СУБД PostgreSQL 9.2.

Работоспособность представленной системы может быть проиллюстрирована на примере моделирования управления боевыми действиями артиллерийского дивизиона (*адн*) штатного (трехбатарейного) состава при решении следующих огневых задач:

− уничтожения батареи противника при сопровождении стрельбы радиолокационным комплексом разведки огневых позиций (РЛК РОП);

− уничтожения движущейся цели при сопровождении стрельбы радиолокационной станцией разведки наземных движущихся целей (РЛС РНДЦ).

Решение перечисленных огневых задач рассматривается на «фоне» сбора данных обстановки, выполняемого в *адн* с заданной периодичностью (интенсивностью).

Результаты моделирования в виде зависимости относительного увеличения длительности процессов управления при решении *адн* огневых задач от интенсивности процесса сбора данных обстановки представлены на рисунке 5.

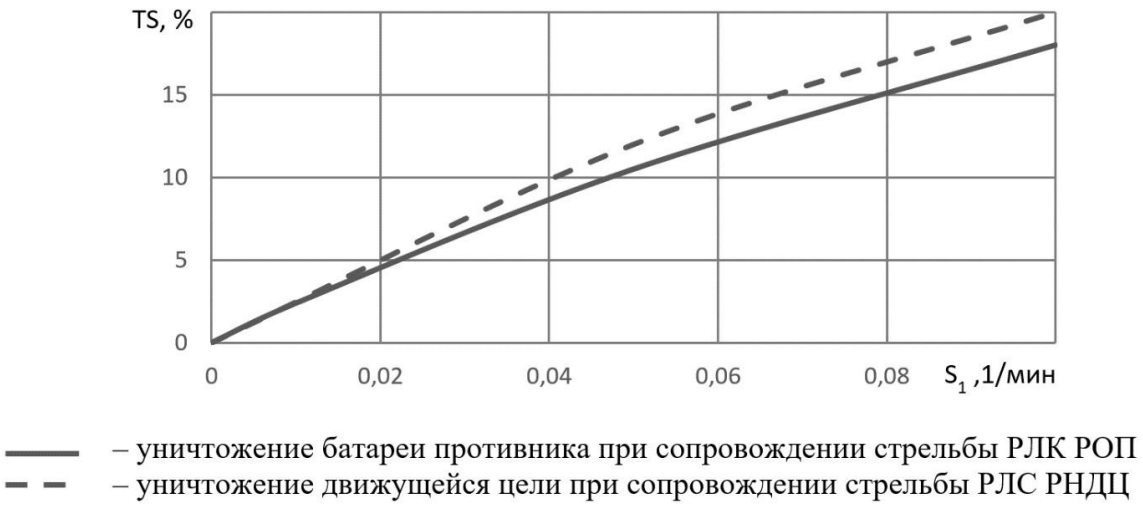


Рис. 5 – Зависимости относительного увеличения длительности процессов управления при решении *адн* огневых задач от интенсивности процесса сбора данных обстановки

Анализ полученных результатов показывает, что сбор данных обстановки может оказывать существенное влияние на длительность решения *адн* огневых задач. При увеличении интенсивности сбора данных обстановки с нуля до 1 раза в десять минут длительность процессов управления при решении огневых задач возрастает:

− при решении огневой задачи по уничтожению батареи противника при сопровождении стрельбы РЛК РОП – на 18%;

− при решении огневой задачи по уничтожению движущейся цели при сопровождении стрельбы РЛС РНДЦ – на 20%.

Возрастание длительности процессов управления в обоих случаях обусловлено дополнительными задержками в решении ДЛ задач управления и передаче между КСА команд управления.

Таким образом, разработанная система позволяет моделировать сетецентрическое управление боевыми действиями в ТЗ с учетом множественности и

взаимовлияния протекающих при управлении процессов. Практическая значимость системы заключается в возможности использования еѐ как составной части комплексной модели боевых действий, а также самостоятельно – при выполнении НИОКР по созданию перспективных АСУ для оценки эффективности закладываемых при их проектировании организационных и технических решений.

Литература

1. Системно-концептуальные основы методологии военно-научных исследований и решения прикладных военно-технических проблем. / Под ред. Демидова Б.А. Тверь, 2014.
2. Концептуальные основы построения АСУ Сухопутными войсками ВС РФ: монография / Ю.Я. Бобков, Н.Н. Тютюнников. М.: Палеотип, 2014.
3. **Макаренко С.И., Иванов М.С.** Сетецентрическая война – принципы, технологии, примеры и перспективы. Монография. СПб.: Наукоемкие технологии», 2018.
4. **Житенѐв С.А., Хорин Ю.А., Голубинский А.Н.** Исследование контуров управления на основе информационных процессов, протекающих в инфокоммуникационной системе // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2017. № 3 (35). С. 20-28.
5. **Богатырев М.В., Владимиров И.В.** и др. К вопросу об оценке эффективности автоматизированной системы управления тактического звена // Теория и техника специальной радиосвязи. №2, 2017. С. 96-101.
6. **Богатырев М.В., Владимиров И.В.** и др. Оценка эффективности автоматизированной системы управления тактического звена в условиях ограниченной надежности ее технических компонентов // Теория и техника специальной радиосвязи №3, 2018. С.15-20.
7. **Акопов С.** Имитационное моделирование. М.: Юрайт, 2014.
8. **Таненбаум Э., Уэзеролл Д.** Компьютерные сети. СПб.: Питер, 2015.