

МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ

Падишин С.А.¹, Савицкий А. Ю.²

DOI:10.21681/3034-4050-2025-1-44-51

Ключевые слова: система управления связи, организационное управление, имитационное моделирование, планирование.

Цель исследования: оценка возможностей применения имитационного моделирования в ходе организации и планирования связи при подготовке боевых операций.

Методы исследования: имитационное моделирование системы связи с ее оценкой по показателям эффективности

Результат: представлена методика применения системы имитационного моделирования в ходе организации и планирования связи при подготовке боевых операций. Прогнозирование поведения системы связи при применении имитационного моделирования позволяет разработать её «цифровой двойник» и провести тестирование по показателям устойчивости и пропускной способности, подготовить конфигурационные файлы телекоммуникационного оборудования согласно его месту в сети и значительно сократить время подготовки оборудования к обеспечению связи.

Научная новизна: исследование предлагает инновационную методику работы должностных лиц по связи, основанную на применении имитационного моделирования. Такой подход представляет возможность создать «цифровой двойник» системы связи и повысить адекватность результатов планирования и постановку задач на обеспечение связи.

Введение

В настоящее время активно проводятся исследования в области применения высокотехнологичных решений в сфере связи, позволяющих значительно повысить характеристики ее функционирования и эффективность при передаче больших объемов информации.

Одним из таких направлений стало применение имитационного моделирования как элемента системы поддержки принятия решения, позволяющее в минимальное время получать обоснованные решения в таких сложных вопросах, как проектирование применения телекоммуникационных систем, в том числе военного назначения.

В ходе имитационного моделирования одним из основных проблемных вопросов всегда является адекватность полученных результатов, так как известно, что любая модель сложной организационно-технической системы, а система связи военного назначения несомненно является такой, это материальный или абстрактный объ-

ект, имеющий сходство в определенных отношениях с оригиналом [1]. При этом, необходимо четко понимать систему ограничений и допущений, которые имеются при любом моделировании и соответственно влияют на адекватность полученных результатов. По мнению авторов, в представленном варианте применения имитационного моделирования данную проблему удалось частично решить за счет применения технологии «цифровых двойников», предписанную в стандарте³.

Организация связи с использованием имитационного моделирования

В процессе организации связи и эксплуатации цифрового оборудования возникает необходимость определения порядка планирования системы связи и снижения временных показателей для обеспечения опережающей готовности системы к обмену всеми видами информации [2]. Для выполнения задач по сокращению времени цикла управления и повышению обоснованности принимаемых решений проводятся опытно-конструкторские и научно-исследовательские

¹Падишин Сергей Александрович, профессор кафедры, кандидат военных наук, доцент Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: Chesstar@mail.ru

²Савицкий Алексей Юрьевич, адъюнкт кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: savialexey7@mail.ru

³АО «ВНИИС», АО «РВК». ПНСТ 429-2020 «Цифровые двойники производства». Часть 1. Общие положения. – Москва : Стандартинформ, 2020 г.

работы, направленные на создание систем моделирования.

Формализация сложных настроек оборудования в виде документа, отражающего все нюансы его функционирования, требует значительных временных затрат, глубоких знаний и привлечения специалистов высокого уровня в различных предметных областях.

С этой целью в ходе планирования работы телекоммуникационной сети специального назначения был применен эмулятор сетевых технологий на основе виртуальной сетевой лаборатории. В лаборатории возможно моделировать работу телекоммуникационной сети, используя программные образы реального телекоммуникационного оборудования, используемого в системе связи (рис. 1).



Рис.1. Вариант применяемого в системе связи телекоммуникационного оборудования

Снижение цикла управления при планировании системы связи предложено реализовать за счет определения протоколов и алгоритмов функционирования телекоммуникационной сети, а также формирования конфигурационных файлов маршрутизаторов на этапе принятия решения об организации связи [3].

На элементах системы связи для реализации принятого решения необходимо лишь загрузить полученные конфигурационные файлы в оборудование, что не требует наличия высококвалифицированного персонала.

При существующих методах планирования связи постановка задачи на настройку телекоммуникационного оборудования осуществляется последовательно. Данный метод постановки задач обладает рядом серьезных недостатков, так как общее время на настройку и проверку готовности всего телекоммуникационного оборудования в масштабе системы связи может достигать до 7 суток.

Однако даже при таких временных затратах не всегда удается добиться реализации всех за-

планированных параметров функционирования системы связи. Это связано с тем, что последовательный метод постановки задач не учитывает возможные изменения в условиях эксплуатации и требует значительных временных затрат на проверку и корректировку настроек оборудования.

В результате, несмотря на значительные временные затраты, не всегда удается достичь полной готовности системы связи к выполнению всех запланированных функций.

Решение данной проблемы является применением имитационного моделирования.

Методика применения систем имитационного моделирования при организации связи при подготовке боевых действий

Основой имитационного моделирования является применение технологии цифровых двойников, суть которой заключается в том, что в специальной среде моделирования используются программные образы телекоммуникационного оборудования, которое применяется в ходе

обеспечения связи, такие как маршрутизаторы Дионис, Микротик, Протей и другие.

При этом программный образ полностью по своим возможностям и настройкам соответствует реальному оборудованию и позволяет использовать создаваемые конфигурационных файлы на действующих элементах системы связи.

Для сетей военной связи применение технологии цифровых двойников приобретает особое значение, так как только в виртуальной среде возможно провести сложные тонкие настройки работы оборудования, которые на реальных сетях провести или невозможно, или на это потребуется много временных и других

затрат.

Методика работы применения систем имитационного моделирования включает следующие этапы:

1. *Создание цифрового двойника сети передачи данных системы связи:*

На текущем этапе разрабатывается виртуальный прототип системы связи с применением специального оборудования и развернутых серверов (рис 2.), предназначенных для моделирования и тестирования различных сценариев [4]. Цифровой двойник должен точно воспроизводить реальные характеристики системы связи, включая её топологию, оборудование и протоколы.



Рис. 2. Состав системы имитационного моделирования

Сервер имитационного моделирования развернут на базе блейд-оборудования с оперативной памятью более 100 Гб и жестким диском объемом более 4 терабайт. Сервер состоит из четырех отдельных лезвий, на каждом из которых развернут фрагмент сетей связи группировок и армий. Также развернуты серверы системы мониторинга Zabbix, элементы межвидовой системы информационного обмена, такие как программный комплекс Лис мобильный, мессенджер ПостЛинк, тактический маршрутизатор Скарабей и АТС Протей. Используются программы имитации мультимедийного трафика [5], мониторинга и проведения компьютерных атак и др.

2. *Моделирование и тестирование:* с использованием имитационной модели проводится моделирование различных сценариев связи (рис. 3.), включая изменение нагрузки программы [6] (имитации мультимедийного трафика), отказ оборудования и воздействие внешних факторов. Это позволяет провести комплексную оценку эффективности системы связи, выявить потенциальные проблемы и уязвимости до их возникновения в реальной системе, что способствует повышению надежности и устойчивости системы связи, а также обеспечивает возможность своевременного внедрения необходимых корректировок и улучшений.

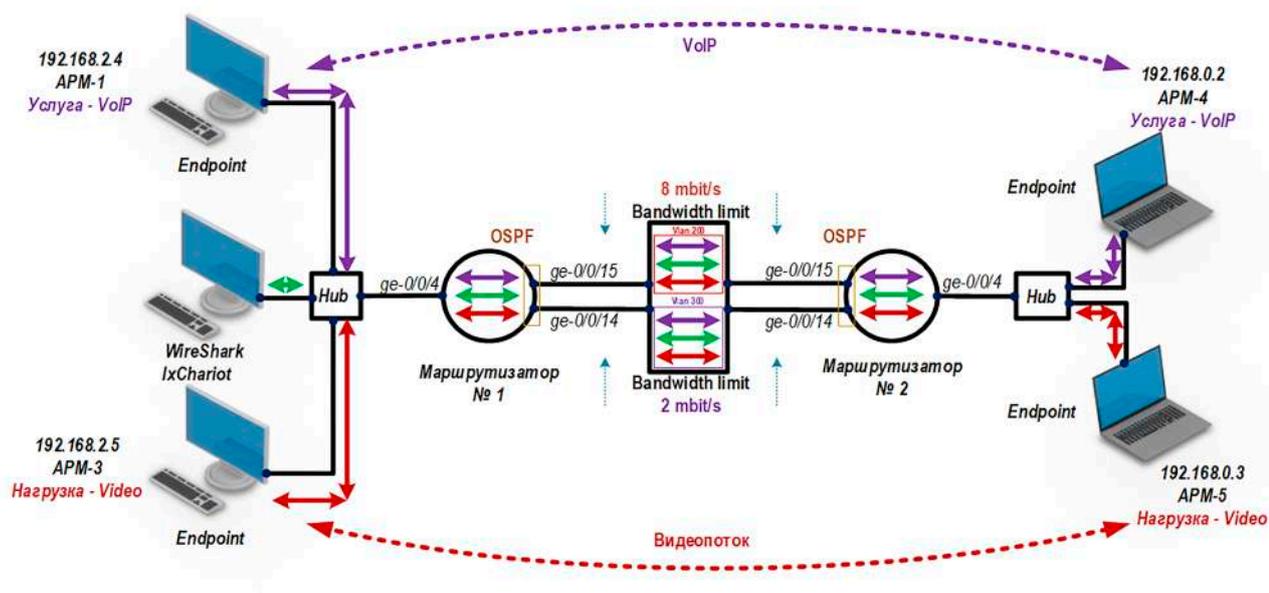


Рис.3. Схема проведения измерений

В целях проведения тестирования на «цифровом двойнике» системы связи проведён ряд измерений для оценки качества обслуживания (QoS) разнородного трафика на основе применения алгоритма поэтапного продвижения по выделенным классификационным признакам. При этом были задействованы два элемента системы связи:

1. В VLAN 200 сконфигурировано программное ограничение пропускной способности портов в 2 Мбит/с. Моделируется канал спутниковой связи.

2. В VLAN 300 сконфигурировано программное ограничение пропускной способности портов, включенных в 8 Мбит/с. Моделируется радиорелейный интервал.

Для организации объединения пропускных способностей между ними сконфигурирован протокол динамической маршрутизации OSPF и алгоритм балансировки LoadBalance.

Постановка задачи представлена в таблице 1:

трафик между APM № 1 и APM № 4 — VoIP;
трафик между APM № 3 и APM № 5 — ЗВКС;

Таблица 1 — Постановка задачи исследования

№ п/п	Endpoint 1	Endpoint 2	Тип трафика, количество потоков	Занимаемая полоса	Суммарная занимаемая полоса
1	192.168.2.4 (APM № 1)	192.168.0.2 (APM № 4)	10 VoIP потоков	64 кбит/с каждый	640 кбит/с
2	192.168.2.5 (APM № 3)	192.168.0.3 (APM № 5)	3 ЗВКС потока	2, 4, 4 Мбит/с	10 Мбит/с.

3. Анализ результатов: после проведения моделирования и тестирования (табл. 2), результаты анализируются должностными лицами по

связи (табл. 3). Определяются слабые места системы связи и предлагаются меры по их устранению.

Таблица 2 — Сводная таблица результатов экспериментов

№ п/п	Тип	Полоса пропускания (Мбит/с)	Без применения QoS		С применением QoS	
			Минимальная полоса пропускания (Мбит/с)	Процент потерь пакетов (%)	Минимальная полоса пропускания (Мбит/с)	Процент потерь пакетов (%)
1	VoIP-1	0,064	0,033	26,7	0,064	0
2	VoIP-2	0,064	0,045	14,9	0,064	0
3	VoIP-3	0,064	0,031	29,4	0,064	0
4	VoIP-4	0,064	0,051	9	0,064	0
5	VoIP-5	0,064	0,030	28,6	0,064	0
6	VoIP-6	0,064	0,029	32,5	0,064	0
7	VoIP-7	0,064	0,026	29,1	0,064	0
8	VoIP-8	0,064	0,029	30,7	0,064	0
9	VoIP-9	0,064	0,046	13,6	0,064	0
10	VoIP-10	0,064	0,037	22,4	0,064	0
11	Video-11	2	0,740	57,2	0,84	54
12	Video-2	4	2,6	28,1	2,38	37,3
13	Video-3	4	2,1	44,5	2,99	19,6

Таблица 3 — Анализ результатов

№ п/п	Тип	полоса пропускания		потери пакетов	
		полоса пропускания	восстановлена	потери пакетов	снижены
1	VoIP-1	48%	восстановлена	27%	снижены
2	VoIP-2	30%	восстановлена	15%	снижены
3	VoIP-3	52%	восстановлена	29%	снижены
4	VoIP-4	20%	восстановлена	9%	снижены
5	VoIP-5	53%	восстановлена	29%	снижены
6	VoIP-6	55%	восстановлена	33%	снижены
7	VoIP-7	59%	восстановлена	29%	снижены
8	VoIP-8	55%	восстановлена	31%	снижены
9	VoIP-9	28%	восстановлена	14%	снижены
10	VoIP-10	42%	восстановлена	22%	снижены
11	Video-1	12%	восстановлена	6%	снижены
12	Video-2	-9%	снижена	-25%	повышены
13	Video-3	30%	восстановлена	127%	снижены

Удалось полностью восстановить качество всех 10 генерируемых VoIP потоков. Потери пакетов в IP-телефонии — 0% отсутствуют, полоса пропускания каждого потока VoIP реализована на 100%. Закрепление полос за определёнными IP адресами позволяет формировать маршрутно-адресные таблицы для конфигурации оборудования, оперировать которыми можно, обладая базовыми навыками работы с телекоммуникационным

оборудованием. Простая прослеживаемая логика применения способа позволяет быстро находить и исправлять проблемы в сети.

4. *Планирование и постановка задач:* На основе анализа результатов моделирования и тестирования должностные лица планируют мероприятия по обеспечению связи [7] и ставят задачи подразделениям связи (рис.4.) Задачи могут включать изменения конфигурации системы связи.

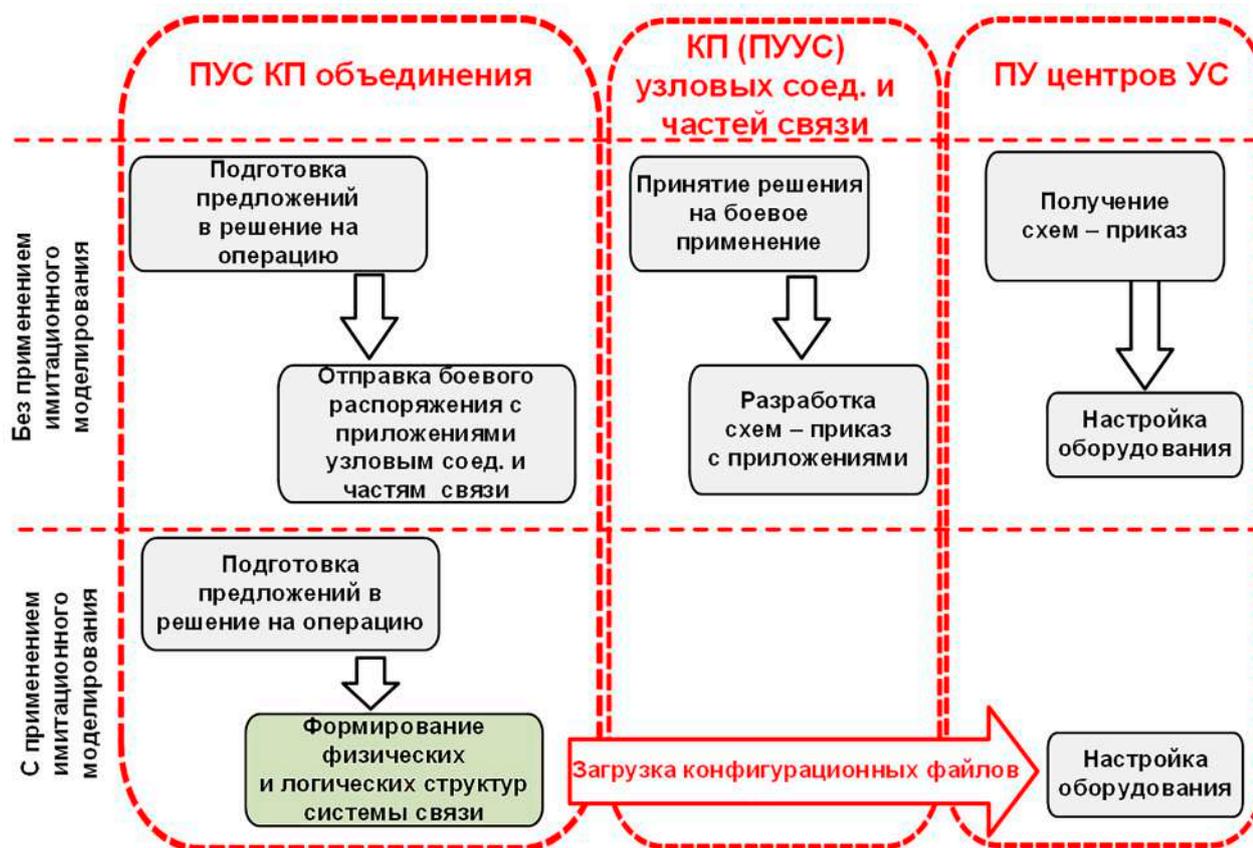


Рис. 4. Методика планирования и постановки задачи с(без) применения имитационного моделирования

Процесс имитационного моделирования включает в себя важный аспект: после завершения моделирования конфигурационные файлы виртуального оборудования переносятся на реальное оборудование, соответствующее его сетевому расположению.

В рамках имитационного моделирования выделяют четыре основных этапа: создание модели сети связи, анализ эффективности сети связи, разработка конфигурационных файлов для оборудования в виртуальной среде, перенос конфигурационных файлов с виртуального оборудования на реальное в зависимости от его сетевого местоположения.

Использование данного подхода позволяет

достичь значительных преимуществ:

1. Время, необходимое для подготовки телекоммуникационного оборудования к работе, сокращается более чем в 20 раз, причем эффект усиливается с увеличением размера сети.
2. Вероятность ошибок при настройке оборудования значительно снижается благодаря предварительному тестированию сети в имитационной модели.

5. *Мониторинг и корректировка:* после реализации плана должностные лица продолжают мониторинг с использованием программы Zabbix (рис. 5) по основным информационным направлениям.

Мониторинг состояния оборудования: Zabbix позволяет отслеживать работоспособность серверов, сетевых устройств и приложений, что помогает выявлять и предотвращать потенциальные проблемы до их возникновения.

Своевременные уведомления: система автоматически уведомляет дежурного на пункте управления о сбоях и отклонениях в работе оборудования, что позволяет быстро реагировать на внештатные ситуации.



Рис. 5. Мониторинг сети передачи данных системы связи объединения

Анализ данных: Zabbix собирает и обрабатывает большие объемы данных, что дает возможность проводить глубокий анализ работы системы и выявлять тенденции, способные привести к сбоям. Например, если время запуска сервера увеличивается, это может сигнализировать о необходимости вмешательства.

Снижение рисков: регулярный мониторинг с использованием Zabbix минимизирует риски технических сбоев и потерь, связанных с простоями оборудования или сервисов.

Таким образом, применение Zabbix для мониторинга после реализации плана обеспечивает более высокую надежность и эффективность работы информационных систем, позволяя оперативно реагировать на возникающие проблемы и оптимизировать процессы управления.

Выводы

В процессе исследования системы управ-

ления объединения и методики работы должностных лиц по связи, мы использовали комплексный подход: моделирование и тестирование систем связи, которые играют ключевую роль в их разработке и эксплуатации. Эти методы, включая имитационное моделирование, позволяют провести комплексную оценку эффективности системы, выявить потенциальные проблемы и уязвимости до их возникновения в реальной системе. Это способствует повышению надежности и устойчивости системы связи, обеспечивая ее бесперебойную работу и своевременное внедрение необходимых корректировок и улучшений. Имитационное моделирование помогает определить слабые места и принять меры для их устранения, что особенно важно для предотвращения критических сбоев и обеспечения стабильной работы системы связи в условиях изменяющихся нагрузок и внешних воздействий.

Литература

1. Сызранцев Г. В., Ермишян А. Г., Лукин К. И., Федулов А. В. Теоретические и научно-практические основы построения систем связи специального назначения. – Москва: Горячая Линия - Телеком, 2023. – 376 с.
2. Иванов В. Г., Лукьянчик В. Н. Об эволюции теории и практики построения существующих систем связи военного назначения на основе создания мультиконвергентной системы связи группировки войск (сил) на театре военных действий // Военная мысль. 2021г. № 1 – С. 66–79.
3. Падишин С.А., Сазыкин А.М., Даньшин С.С., Грищенко К.А. Имитационное планирование системы связи специального назначения на основе применения технологии цифровых двойников. Вопросы оборонной техники. – 2022. № 16. – С. 48–55.

4. Копичев О. А., Николаев А. Е. Современные войны: анализ тенденций развития межгосударственного противоборства, классификация форм и способов борьбы, формирование признаков и критериев военного конфликта // Системы управления, связи и безопасности. – 2021. – № 1. – С. 1–32.
5. Грищенко К.А. Способ построения цифрового двойника сети связи // Вопросы радиоэлектроники. Серия: техника телевидения. – 2023. – № 4– С. 54–61.
6. Падишин С.А., Литвинов А.И., Манаков К.О., Шешуков А.С., Курочка В.А. Имитационное планирование системы связи объединения на основе применения виртуальной сетевой лаборатории EVE-NG. Известия РАРАН. Выпуск 5 (115), СПб.: РАРАН, 2020 г., 148-157 с.
7. Иванов В. Г. Основы построения и оценки эффективности функционирования системы связи специального назначения в международном вооруженном конфликте на основе многосферной и конвергентной структуры ее элементов: Монография. – СПб.: ПОЛИТЕХ, 2023. – 298 с.

WORK METHODOLOGY OF OFFICIALS OF THE UNION OF THE REPUBLIC OF BELARUS USING A DIGITAL TWIN

Padishin S.A.¹, Savitsky A.Yu.²

Keywords: *communication management system, organizational management, operational and technical management, technological management, planning.*

The objective of the study: *to assess the possibilities of using simulation modeling in the organization and planning of communications in the preparation of combat operations.*

Research methods: *simulation modeling of the communications system with its assessment by performance indicators*

Result: *The study presents a methodology for using the simulation modeling system in the organization and planning of communications in the preparation of combat operations. Forecasting the behavior of the communications system when using simulation modeling allows you to develop its "digital twin" and conduct testing according to stability and throughput indicators, prepare configuration files for telecommunications equipment, according to its place in the network and significantly reduce the time it takes to prepare equipment to provide communications.*

The scientific novelty *of the study offers an innovative methodology for the work of communications officials based on the use of simulation modeling. This approach provides an opportunity to create a "digital twin" of the communications system and improve the adequacy of planning results and setting tasks for providing communications.*

References

1. Syzrantsev G. V., Ermishyan A. G., Lukin K. I., Fedolov A. V. Theoretical and scientific-practical foundations for building special-purpose communication systems. - Moscow.: Goryachaya Liniya-Telecom, 2023 – 376 p.
2. Ivanov V. G. On the evolution of the theory and practice of building existing military communication systems based on the creation of a multi-convergent communication system for a grouping of troops (forces) in a theater of military operations. /Ivanov V. G., Lukyanchik V. N. Military Thought No. 1. 2021. - P. 66-79.
3. Padishin S. A., Sazykin A. M., Danshin S. S., Grishchenko K. A. Simulation planning of a special-purpose communication system based on the use of digital twin technology. Issues of defense equipment. – 2022. No. 16. – P. 48–55.
4. Kopichev O. A., Nikolaev A. E. Modern wars: analysis of interstate confrontation development trends, classification of forms and methods of struggle, formation of signs and criteria of military conflict // Control, communications and security systems. – 2021. – No. 1. – P. 1–32.
5. Grishchenko K. A. Method for constructing a digital twin of a communication network. // Issues of radio electronics. series: television technology – 2023. – No. 4– P. 54–61.
6. Padishin S. A., Litvinov A. I., Manakov K. O., Sheshukov A. S., Kurochka V. A. Simulation planning of an association communication system based on the use of the EVE-NG virtual network laboratory. Izvestiya RARAS. Issue 5 (115), St. Petersburg: RARAS, 2020, 148-157 pp.
7. Ivanov V. G. Fundamentals of construction and assessment of the efficiency of functioning of a special-purpose communication system in an international armed conflict based on the multi-sphere and convergent structure of its elements: Monograph. - St. Petersburg: POLYTECH, 2023. - 298 p.

¹Sergey A. Padishin, Ph.D., Professor of the Department of Communications the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: Chesstar@mail.ru

²Alexey Yu. Savitsky, Adjunct of the Department of Communications of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: savialekey7@mail.ru