

**ИМИТАЦИОННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ  
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ**

**SIMULATION PLANNING OF A SPECIAL-PURPOSE COMMUNICATION  
SYSTEM BASED ON THE APPLICATION OF DIGITAL TWIN TECHNOLOGY**

*Канд. воен. наук С.А. Падишин<sup>1</sup>, канд. техн. наук А.М. Сазыкин<sup>2</sup>,  
С.С. Даньшин<sup>1</sup>, В.С. Курочка<sup>1</sup>, К.А. Грищенко<sup>3</sup>*

*Ph.D. S.A. Padishin, Ph.D. A.M. Sazikin, S.S. Danshin, V.S. Kurochka, K.A. Grischenko*

*<sup>1</sup>ВАС им. С.М. Буденного, <sup>2</sup>Михайловская военная артиллерийская академия,  
<sup>3</sup>Псковская универсальная научная библиотека*

Статья посвящена вопросам имитационного планирования системы связи специального назначения (СН). В рамках данной статьи представлен вариант применения современных компьютерных средств моделирования. Разработан способ имитационного планирования системы связи на основе применения «цифрового двойника». Применение технологии цифровых двойников позволяет смоделировать работу сетей связи СН с учетом изменения их структуры, провести сложные настройки их функционирования и проверку на предмет отсутствия ошибок в конфигурационных файлах, провести предварительное тестирование по показателям эффективности, сократить время на подготовку телекоммуникационных сетей к обеспечению информационного обмена более чем в 20 раз.

**Ключевые слова:** имитационное планирование, система связи специального назначения, сетевая лаборатория, виртуальный эксперимент, виртуализация.

The article is devoted to the issues of simulation planning of special purpose communication system (SP). Within the framework of this article a variant of application of modern computer modeling tools is presented. A method of simulation planning of communication system based on the application of «digital twin» is developed.

Application of digital twin technology allows to simulate work of SP communication networks taking into account change of their structure, to make complex settings of their functioning and check for absence of errors in configuration files, to conduct preliminary testing on efficiency indicators, to reduce time for preparation of telecommunication networks for providing information exchange by more than 20 times.

**Keywords:** simulation planning, military communication system, network laboratory, virtual experiment, virtualization.

В настоящее время в Вооруженных Силах Российской Федерации (ВС РФ) активно применяются системы моделирования военных (боевых) действий.

Применение систем моделирования по взглядам командования должно обеспечить выполнение двух основных задач:

– сократить время цикла управления войсками (силами);

– повысить обоснованность принимаемых решений должностных лиц по боевому применению подчиненных войск, сил и оружия.

В целях выполнения данной задачи проводятся опытно-конструкторские и научно-иссле-

довательские работы, апробация полученных результатов в ходе мероприятий оперативной и боевой подготовки войск и штабов.

В войсках связи данным вопросам также уделяется серьезное внимание. Принят на снабжение и используется программно-аппаратный комплекс поддержки принятия решения начальника связи объединения. Данный комплекс является технологической базой для наращивания возможностей по интеллектуальной поддержке принимаемых решений на связь в операциях.

В ходе совершенствования данного комплекса возможно выделить отдельное направление, которое реализуется на основе применения новой развивающейся технологии «цифровых двойников». Цифровой двойник — это информационная дискретная модель, сформированная для обработки на компьютере, представляющая собой программно-аппаратный комплекс, реализующий комплексную динамическую модель для исследования [1].

Суть технологии «цифровой двойник» заключается в том, что на основе применения виртуальной среды моделирования создается цифровой двойник реального объекта, который позволяет имитировать его работу, формировать алгоритмы его поведения, которые в дальнейшем возможно применить на реальном объекте. При этом информация, полученная при тестировании реального объекта, также должна быть получена и при тестировании виртуального объекта и быть идентичной.

Применительно к современным телекоммуникационным сетям, инструментом, позволяющим реализовать технологии цифровых двойников является компьютерные средства моделирования, реализованные в виртуальной сетевой лаборатории EVE-NG. Серьезным отличием данной среды моделирования от других, является то, что в ней при создании виртуальных телекоммуникационных сетей возможно использовать программные образы оборудования различных производителей, а после завершения

моделирования экспортировать сформированные конфигурационные файлы в реальное телекоммуникационное оборудование, согласно его места в сети.

Применение технологии цифровых двойников при планировании связи в операциях позволяет смоделировать работу сетей специальной связи с учетом изменения их структуры, провести сложные настройки их функционирования на предмет отсутствия ошибок в конфигурационных файлах, и что самое главное — провести предварительное тестирование по показателям эффективности в условиях предполагаемого деструктивного воздействия противника.

В рамках применения технологии цифровых двойников коллективом авторов была создана виртуальная лаборатория сетевых топологий системы связи объединения и разработан метод имитационного планирования связи.

Основными сервисами, которые возможно реализовать при применении технологии цифровых двойников являются [1]:

- управление в режиме реального времени;
- аналитика в автономном режиме.

В созданной виртуальной сетевой лаборатории реализован сервис — аналитика в автономном режиме, что позволяет выполнить, в том числе требования по защите информации.

Современные системы связи объединений и соединений ВС РФ характеризуются высокой сложностью. Чтобы обеспечить их функционирование необходимо спланировать не только физическую связность оборудования между собой, но и логические структуры общей архитектуры системы (сетей) связи [2].

Основными элементами общей архитектуры телекоммуникационной сети системы связи объединения являются (рис. 1):

1. Организационно-техническая (физическая) структура<sup>1</sup>;
2. Логические структуры<sup>2</sup>:

<sup>1</sup>Организационно-техническая структура — рациональная совокупность средств связи и автоматизации, объединенных в элементы, электрически соединенных и согласованных между собой. По завершении формирования данной структуры, все аппаратные и телекоммуникационное оборудование в них подключено друг к другу, обеспечивается работа по стыкам технологии Ethernet и (или) по стыку G-701 — для передачи структурированного потока Е1.

<sup>2</sup>Логические структуры — виртуальные структуры, представленные системой протоколов и логических интерфейсов, определяющих правила взаимодействия, конвергенции и интеграции сетей, служб, услуг на уровнях эталонной модели взаимосвязи открытых систем (ЭМВОС).



Рис. 1. Архитектура современной телекоммуникационной сети системы связи объединения

– адресная структура (формируется на основе методов статического и динамического распределения адресов с применением масок переменной длины);

– используемые протоколы динамической и статической маршрутизации на элементах сетей связи;

– топология VPN-туннелей (криптотуннелей) на узлах связи и системе связи в целом;

– логические структуры, формируемые при обеспечении различных услуг связи (автоматической телефонной связи, видеосвязи, документального обмена и др.), во всех случаях применяется технология «клиент-сервер»;

– правила приоритезации и структура очередей при передаче разнородного трафика с учетом его важности и срочности;

– настройка правил фильтрации входящего и исходящего трафика на узлах связи с учетом структуры информационного обмена.

Планирование логических структур телекоммуникационной сети является сложной организационно-технической задачей, а именно:

– сложно формализовать и поставить задачу по настройке каждого элемента телекоммуникационной сети связи, по логическим уровням ее архитектуры;

– высока вероятность ошибки в ходе настройки оборудования, еще более сложно ее найти при развертывании реальной сети связи;

– для «тонких» настроек логических структур телекоммуникационного оборудования требуются высокоподготовленные специалисты (архитекторы сети), в которых имеется серьезный дефицит.

Дополнительным фактором, затрудняющим выполнение задачи, является то, что узлы связи находятся на значительном расстоянии друг от друга, полевые узлы связи постоянно перемещаются, причем чем выше динамика боевых действий, тем чаще происходит перестроение сетей связи.

При разработке виртуальной лаборатории сетевых топологий системы связи объединения и метода имитационного планирования была сформулирована следующая проблема [3, 5]. В настоящее время вопросы корректной и полной постановки задач по настройке телекоммуникационного оборудования в установленные сроки в полном объеме не решены, что не позволяет максимально эффективно использовать все возможности оборудования и обеспечивать требуемое качество при предоставлении услуг связи должностным лицам пунктов управления.

В составе виртуальной сетевой лаборатории был спроектирован и реализован виртуальный стенд, схема взаимодействия его элементов представлена на рис. 2.

Эмуляция телекоммуникационной сети проводилась при помощи взаимодействия программных и аппаратных средств, которые в со-

четании составили виртуальную лабораторию сетевых топологий (рис. 3).

Для проведения испытаний смоделирована организационно-техническая (физическая) структура телекоммуникационной сети (рис. 4).

Организационно-техническая структура соответствует реальной физической связности теле-

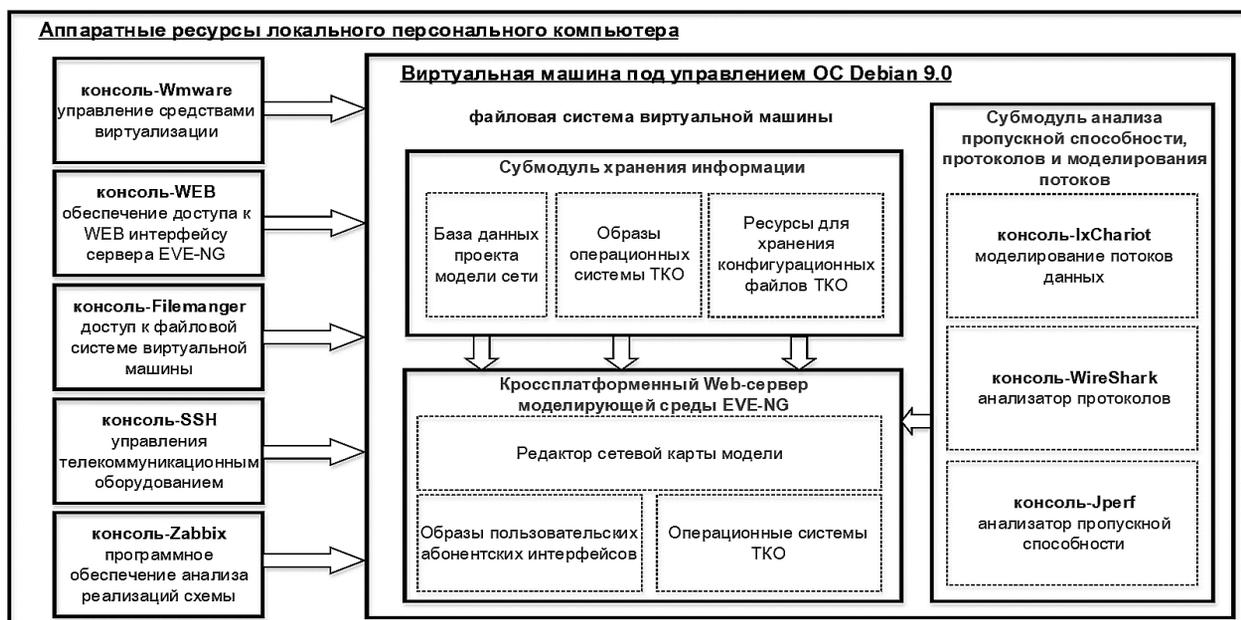


Рис. 2. Схема взаимодействия элементов виртуального стенда

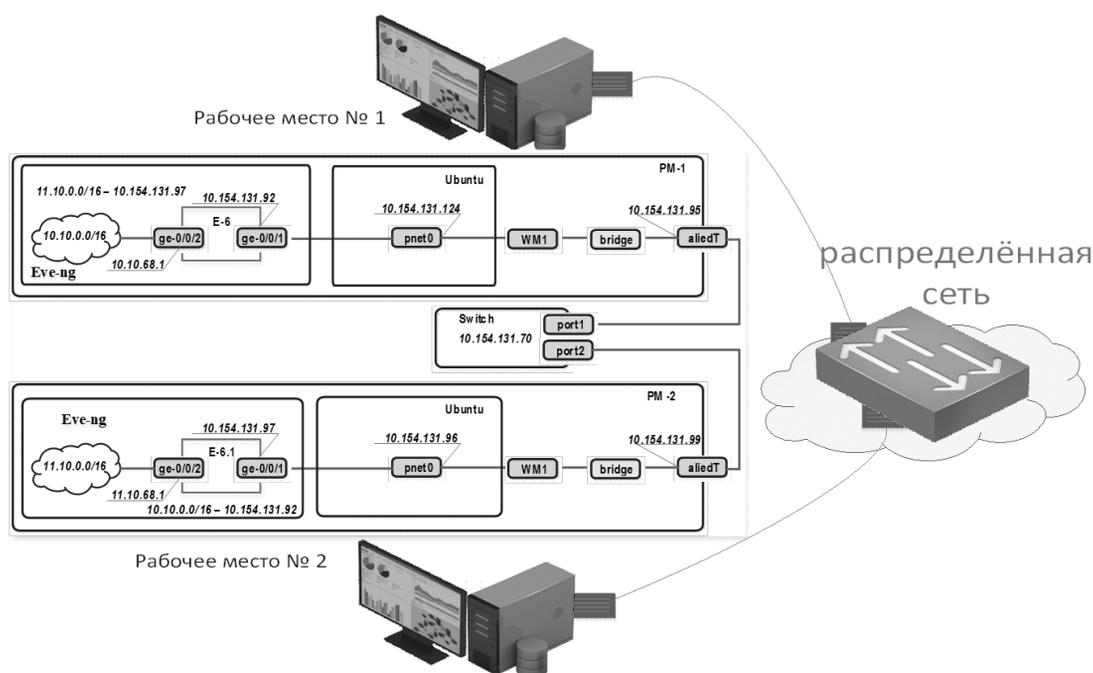


Рис. 3. Схема виртуальной лаборатории

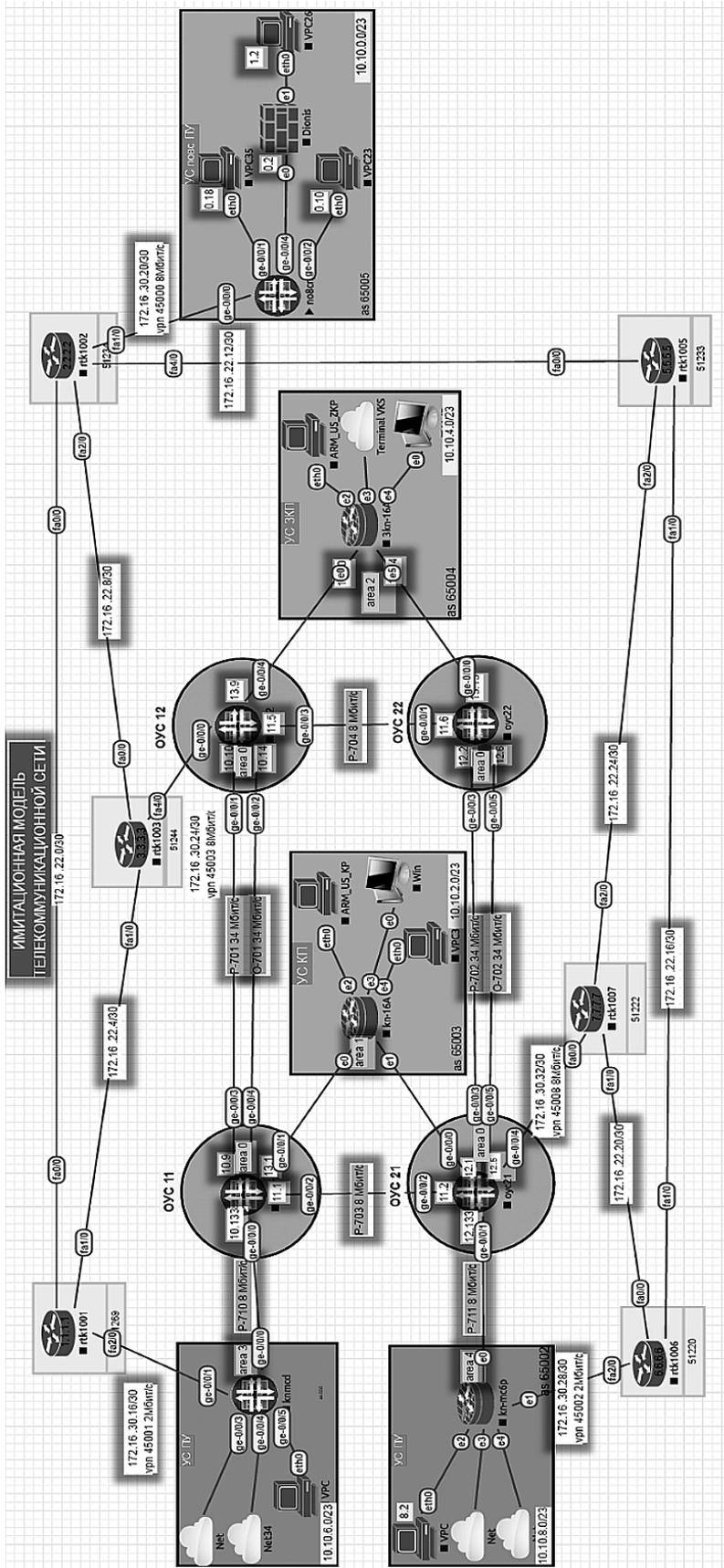


Рис. 4. Организационно-техническая (физическая) структура моделированной сети

коммуникационного оборудования, размещенного на узлах (аппаратных) связи, на интерфейсах маршрутизаторов, также настроены параметры пропускной способности используемого оборудования каналаобразования.

На этапе формирования логической структуры выполнены мероприятия по:

- определению адресной структуры, которая соответствует реальной;
- настройка протоколов маршрутизации между узлами связи;
- настройка VPN-туннелей на наиболее важных информационных направлениях по типу передаваемого трафика;
- имитация передачи мультисервисного трафика — реального времени (речь, видео) и передача файлов;
- настройка правил фильтрации входящего и исходящего трафика на узлах связи с учетом структуры информационного обмена между пунктами управления;
- реализация алгоритмов агрегирования и балансировки трафика (на линиях привязки, от узлов связи пунктов управления к узлам связи транспортной сети и между узлами связи транспортной сети).

Таким образом, используя средства виртуализации на этапе определения организационно-технической и логических структур, была сформирована виртуальная телекоммуникационная сеть полностью идентичная планируемой [6–8].

В процессе имитационного планирования телекоммуникационная сеть была протестирована

на по показателям устойчивости путём вывода из строя виртуальных узлов связи, в реальных условиях — при изменении связности в результате воздействия на сеть деструктивных факторов.

Для визуализации результатов исследования осуществлялось поэтапное отключение маршрутизаторов в среде моделирования, через которые осуществлялся обмен информацией и определялось время восстановления информационного обмена.

Результаты проведения моделирования работы сети передачи данных позволили реализовать автоматизированный процесс перестроения логических связей при изменении топологии сети в случае выхода из строя как линий связи, так и узлов связи в целом. Настройка параметров выбранных протоколов маршрутизации позволила уменьшить время перехода с основного маршрута на резервный до 2-х секунд, в 60 % случаев время перехода происходило мгновенно.

Данный результат для полевой сети связи специального назначения получен впервые. Он раскрывает потенциальные возможности настройки сети и обеспечения высокого качества в предоставлении услуг.

Применение имитационного планирования позволяет проводить дополнительные исследования в области обеспечения защиты телекоммуникационной сети от средств технической компьютерной разведки.

На рис. 5 представлено сравнение традиционного и имитационного методов планирования связи.

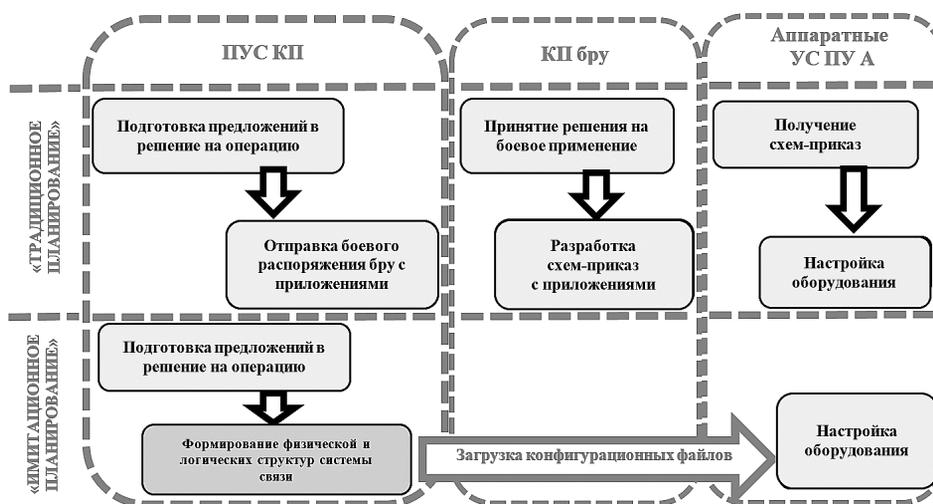


Рис. 5. Сравнение традиционного и имитационного методов планирования связи

Традиционный метод планирования:

– начальник связи определяет общую структуру сетей связи и ставит задачу подчинённым в виде боевого распоряжения;

– командир бригады управления и штаб, получив боевое распоряжение, детализируют данную задачу в виде разработки общей схемы-приказа на узлы связи с приложениями;

– командир подразделения готовит схемы-приказы на боевые посты;

– механик аппаратной связи по полученным схемам-приказам и технологическим картам осуществляет настройку телекоммуникационного оборудования.

Имитационный метод планирования:

– начальник связи определяет структуру системы связи, одновременно в имитационной модели моделируется архитектура сети и проводится ее тестирование по показателям пропускной способности, управляемости, устойчивости, в том числе защищенность от компьютерных атак.

По завершении тестирования готовые конфигурационные файлы с полным набором «тонких» настроек переносятся на внешние носители для загрузки в телекоммуникационное оборудование. Выполнение операции переноса конфигурационных файлов на внешние носители, и их загрузка в телекоммуникационное оборудование может выполняться специалистом с минимальными уровнями подготовки [9–10].

При применении метода имитационного планирования выделено четыре этапа:

1. Имитационное моделирование телекоммуникационной сети связи при подготовке и в ходе принятия решения на связь в операции;

2. Тестирование смоделированной сети связи по показателями эффективности;

3. Формирование конфигурационных файлов телекоммуникационного оборудования и подготовка к их отправке;

4. Загрузка конфигурационных файлов в телекоммуникационное оборудование аппаратных (станций) узлов связи пунктов управления.

Разработанный метод имитационного планирования телекоммуникационной сети объединения может быть использован при разработке инновационных алгоритмов для систем поддержки принятия решений должностных лиц, осуществляющих планирование системы связи различных звеньев управления.

При существующих («традиционных») методах планирования связи постановка задачи на настройку телекоммуникационного оборудования осуществляется последовательно. Данный подход обладает рядом недостатков, так как в итоге общее время на настройку и проверку готовности всего телекоммуникационного оборудования в масштабе системы связи может достигать до 5–7 суток. Но даже при таких временных затратах не всегда удается добиться реализации всех спланированных параметров логических структур сети связи.

Применение метода имитационного планирования телекоммуникационной сети позволяет существенно сократить время (до 5–7 часов), необходимое для формирования логических структур и настройки телекоммуникационного оборудования. То есть, сокращение времени подготовки оборудования к работе более чем в 20 раз. Причем, чем больше в составе телекоммуникационной сети будет узлов, тем больше будет эффект при применении метода имитационного планирования.

В качестве выводов можно сформулировать следующее.

1. Разработанный авторами метод имитационного планирования связи на основе применения технологии «цифровых двойников» позволяет более чем в 20 раз сократить время на подготовку телекоммуникационных сетей к обеспечению информационного обмена, что приводит к уменьшению цикла управления системой и войсками связи при подготовке связи в операциях.

2. Имитационное моделирование позволяет осуществлять сложные настройки логических структур телекоммуникационной сети, проводить их тестирование и проверку по показателям устойчивости, пропускной способности, управляемости, что повышает обоснованность принимаемых решений на связь.

## Литература

1. Предварительный национальный стандарт Российской Федерации. ПНСТ 429-2020. «Умное производство. Двойники цифровые производства». Часть 1. Общие положения. — М.: АО ВНИИС. 2020.

2. Падишин С.А., Афанасьев В.П., Остапенко А.А. Проблемные вопросы формирования архитектуры узла связи полевого подвижного пункта управления объединения при применении

современных средств. — СПб: ВАС. Сборник трудов ВАС. 2018. № 103. С. 137–141.

3. EVE-NG Emulated Virtual Environment. Next Generation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.eve-ng.net>

4. OMNet++ Simulation Manual [Электронный ресурс] // OpenSim Ltd. Электрон. дан. — 2015. Режим доступа: <https://omnetpp.org/doc/omnetpp/manual/>

5. Топ 5 инструментов моделирования сетей в 2020 году [Электронный ресурс] <https://wiki.merionet.ru/seti/34/top-5-instrumentov-modelirovaniya-setej-v-2020-godu/>

6. ГОСТ Р 57721-2017 Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Эксперимент виртуальный. — М.: Стандартинформ. 2018. 12 с.

7. ГОСТ Р 57412-2017 Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. — М.: Стандартинформ. 2018. 11 с.

8. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов, 4-е издание. — СПб: 2010. 943 с.

9. Падишин С.А., Грищенко К.А., Сазыкин А.М. Способ обеспечения качества обслуживания разнородного трафика транспортной сети связи специального назначения на основе применения алгоритма поэтапного продвижения по выделенным классификационным признакам. — СПб: Журнал «Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму». 2019. № 9–10 (135–136). С. 29–35.

10. Падишин С.А., Грищенко К.А., Сазыкин А.М. Способ динамической маршрутизации трафика в сети связи, основанный на применении таблицы маршрутизации с динамической метрикой, адаптированной к параметрам пакетов. — СПб.: Журнал «Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму». 2020. № 3–4 (141–142). С. 79–84.

## References

1. Preliminary National Standard of the Russian Federation. PNST 429-2020. «Smart manufacturing.

Doppelgangers of digital manufacturing». Part 1. General provisions. — М.: АО VNIIS. 2020.

2. Padishin S.A., Afanasyev V.P., Ostapenko A.A. Problems of forming the architecture of the communication node of the field mobile control point of association in the application of modern means. — SPb: VAS. Proceedings of VAS. 2018. № 103. P. 137–141.

3. EVE-NG Emulated Virtual Environment. Next Generation [Electronic resource]. Access mode: <http://www.eve-ng.net>

4. OMNet++ Simulation Manual [Electronic resource] // OpenSim Ltd. Electronic data. 2015. Access mode: <https://omnetpp.org/doc/omnetpp/manual/>

5. Top 5 Network Simulation Tools in 2020 [Electronic resource] <https://wiki.merionet.ru/seti/34/top-5-instrumentov-modelirovaniya-setej-v-2020-godu/>

6. GOST R 57721-2017 Information and communication technologies in education. Virtual experiment. — М.: Standartinform. 2018. 12 p.

7. GOST R 57412-2017 Computer models in the processes of development, production and operation of products. — М.: Standartinform. 2018. 11 p.

8. Olifer V.G., Olifer N.A. Computer Networks. Principles, technology, protocols: Textbook for Universities. 4th edition. — St. Petersburg. 2010. 943 p.

9. Padishin S.A., Sazikin A.M., Grischenko K.A. A method for ensuring the quality of service of heterogeneous traffic of the transport network of special purpose communications based on the application of the algorithm of gradual promotion of the selected classification criteria — Saint-Petersburg. Military Engineering. Issue 16. Counter-terrorism technical devices. 2019. № 9–10 (135–136). P. 29–35.

10. Padishin S.A., Sazikin A.M., Grischenko K.A. A method of dynamic routing of traffic in a communication network based on the use of a routing table with a dynamic metric adapted to packet parameters — Saint-Petersburg. Military Engineering. Issue 16. Counter-terrorism technical devices. 2020. № 3–4 (141–142). P. 79–84.