

УДК: 004.057.4

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ
ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ
ПО ПОКАЗАТЕЛЮ МАРШРУТНОЙ МОЩНОСТИ,
С УЧЁТОМ ВЕСОВЫХ КОЭФИЦИЕНТОВ ЭЛЕМЕНТОВ
ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА**

**METHODOLOGY FOR ASSESSING THE STABILITY
OF AN INFORMATION AND TELECOMMUNICATIONS NETWORK
BASED ON THE ROUTE CAPACITY INDICATOR, TAKING INTO ACCOUNT
THE WEIGHT COEFFICIENTS OF INFORMATION EXCHANGE ELEMENTS**

*Канд. воен. наук С.А. Падишин¹, канд. техн. наук А.М. Сазыкин²,
К.А. Грищенко¹, В.С. Курочка¹*

PhD S.A. Padishin, PhD A.M. Sazikin, K.A. Grischenko, V.S. Kurochka

¹Военная академия связи им. С.М. Буденного, ²Михайловская военная артиллерийская академия

Статья посвящена вопросам выбора рациональной структуры планируемой информационно-телекоммуникационной сети путём проведения оценки устойчивости её физической и логической структур. В статье проведён анализ существующих методик расчёта устойчивости. Определён круг проблемных вопросов, которые не могут быть решены с использованием существующих методик. По результатам анализа сформирован альтернативный подход к решению задачи выбора между возможными вариантами структур планируемой телекоммуникационной сети. Варианты организации телекоммуникационных сетей сравниваются с целью выбора варианта с наиболее устойчивой структурой. Для сравнения применяется комплексный показатель — маршрутная мощность. Описана методика расчёта маршрутной мощности и проведены примеры расчётов показателя для различных структур сети при неизменном наборе исходных данных.

Ключевые слова: устойчивость, инфокоммуникационная сеть, маршрут, простая цепь, вероятность связности, маршрутная мощность, структурная устойчивость.

The article is devoted to the choice of a rational structure of the planned information and telecommunications network by assessing the stability of its physical and logical structures. The article analyzes the existing methods for calculating stability. The range of problematic issues that cannot be solved using existing methods is defined. Based on the results of the analysis, an alternative approach to solving the problem of choosing between possible variants of the structures of the planned telecommunications network is formed. Options for organizing telecommunications networks are compared in order to select the option with the most stable structure. For comparison, a complex indicator is used—route capacity. The method of calculating the route capacity is described and examples of calculating the indicator for various network structures with an unchanged set of source data are given.

Keywords: sustainability, information and communication network, route, simple chain, the probability of connectivity, route capacity, structural stability.

Современные сетевые технологии предлагают для инженеров широкое многообразие вариантов организации структуры планируемой сети. Однако за многообразием вариантов кроется другая актуальная проблема — проблема выбора рационального варианта, путём оценки каждой структуры по различным показателям. Одним из наиболее важных показателей при такой сравнительной оценке является устойчивость телекоммуникационной сети [1].

Существующие методики оценки устойчивости, в основном, решают задачу оценки устойчивости через показатель $K_{ор}$ — коэффициент оперативной готовности. Однако, основанная на такой методике оценка, во-первых, проводится постфактум, то есть как оценка уже функционирующей за определённый промежуток времени сети, а во-вторых не позволяет сравнивать различные структуры на этапе планирования [2].

Актуальный ГОСТ Р 53111-2008 «Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки» определяет устойчивость, как способность сети электросвязи выполнять свои функции при выходе из строя части элементов сети в результате воздействия дестабилизирующих факторов. В качестве основного показателя оценки устойчивости определён коэффициент вероятности связности p_{ij} — вероятность того, что объект находится в работоспособном состоянии в любой момент времени. Данный стандарт позволяет оценить вероятности связности, однако не учитывает важные факторы, обусловленные появлением новых протоколов динамической маршрутизации, весовые коэффициенты элементов в структуре, объёмы информационного обмена между элементами сети [3].

Проблема рассматривается со многих сторон. Для оценки устойчивости используются такие показатели как: ранг узла — количество линий связи, входящих в узел связи; коэффициент валентности узла — коэффициент, характеризующий отношение ранга данного узла связи к рангу узла связи, имеющего максимальный ранг. Методики, основанные на этих показателях, на наш взгляд, позволяют эффективно находить критически важные элементы в сети, т.е. элементы с исключением которых отдельные информационные направления перестают функционировать, что не в полной мере соответствует поставленной зада-

че и не позволяет численно рассчитать показатель устойчивости за сеть в целом.

Другие методики в своей основе содержат расчет количества остовных деревьев в структурах сетей, представленных в виде графа. Предполагается сравнение исследуемого варианта с неким идеальным вариантом, в виде которого предстаёт сеть с полностью связной структурой. Такие методики уже дают представление о связности сети, как единого целого, и позволяют сравнивать различные варианты организации структуры сети. Однако они не учитывают такие важнейшие показатели как надёжность элементов сети (вершин и рёбер графа сети), весовые коэффициенты элементов информационного обмена.

Например, по результатам вычислений по методике, приведённой в ГОСТ [3] возможен вариант, когда при неизменной усреднённой вероятности связности всей сети p_{ij} , вероятность связности малозначимых абонентов будет выше вероятности связности критичных абонентов.

Представленная ниже методика разработана с целью усовершенствования методического аппарата расчёта устойчивости сети, как единого целого. Её применение позволит находить и выбирать наиболее рациональный вариант организации структуры сети.

Описание предлагаемой методики.

В качестве исследуемой сети выберем сеть объекта модульного типа, а в качестве наглядного представления модель данной сети в виде графа $G = \{X, A\}$ с заданным множеством вершин X и множеством рёбер A .

Существующие классические подходы вариантов развёртывания таких объектов в виде графа представлены на рис. 1.

Структура графа содержит типовые модули. В исследуемом объекте принято выделять 5 модулей ($M1, M2, M3, M4, M5$), каждый из которых содержит в своём составе (на примере $M1$): маршрутизатор транспортной сети (вершина № 1), межсетевой экран (вершина № 2), средства шифрования (вершина № 3), оконечное оборудование защищенного сегмента (вершина № 4), оконечное оборудование открытого сегмента (вершина № 5).

Оконечное оборудование $\{x_i\}$ сегментов связано между собой маршрутами, организованными через транзитные узлы (вершины № 16, 17, 18, 24).

Между окончательным оборудованием модулей выделим маршруты M — последовательность элементов маршрута (рёбер и вершин), связывающих окончательное оборудование модулей.

Далее классическая структура будет видоизменена в двух итерациях. Суть изменений состоит в перераспределении рёбер (линий связи) не меняя их количества. На рис. 2 и 3 представлены графы с проведённым перераспределением. Задача состоит в сравнительной оценке

имеющихся структур с целью выбора наиболее эффективной.

Направлением связи NS будем называть совокупность всех маршрутов соединяющих вершины модулей, которые являются окончательным оборудованием [4]. Для удобства рассмотрим пример расчёта для окончательного оборудования открытого сегмента. Вершины 5, 10, 15, 23, 29 представленного графа являются окончательным оборудованием открытого сегмента.

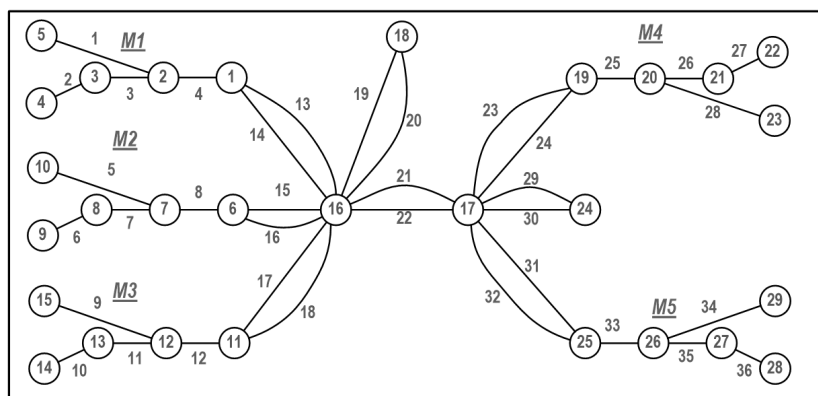


Рис. 1. Структура № 1 сети объекта модульного типа

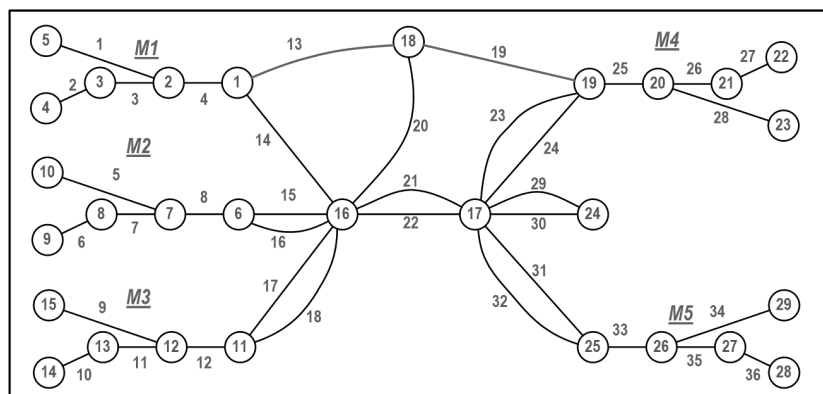


Рис. 2. Структура № 2 сети объекта модульного типа

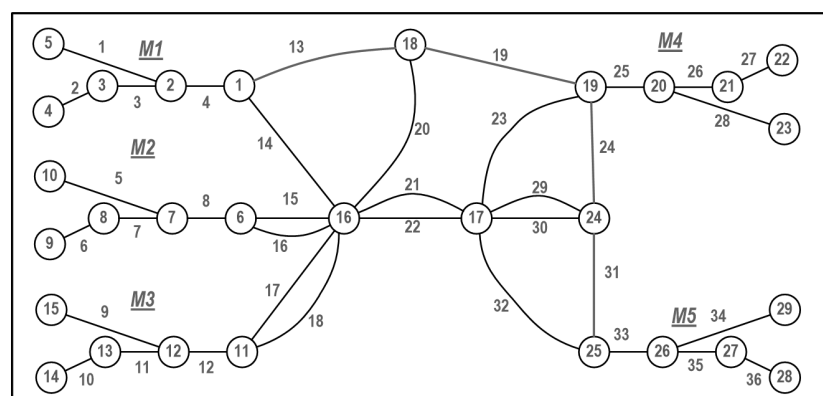


Рис. 3. Структура № 3 сети объекта модульного типа

Для оценки устойчивости, каждой из приведённых структур, предлагаются следующие показатели:

- 1) количество рёбер маршрута N_A ;
- 2) количество вершин маршрута N_X ;
- 3) количество маршрутов в направлении связи N_{MNS_i} ;
- 4) общее количество маршрутов в структуре N_{Mstr} ;
- 5) количество маршрутов в группе маршрутов проходящих через одинаковые вершины N_{M_x} ;
- 6) напряженность направления связи U_{NS} ;
- 7) коэффициент надёжности маршрута KU_M ;
- 8) коэффициент надёжности группы маршрутов KU_{M_x} ;
- 9) коэффициент надёжности направления связи KU_{NS_i} ;
- 10) коэффициент надёжности структуры KU_{str} ;
- 11) маршрутная мощность W_{NS_i} .

Количество рёбер N_A и вершин N_X в каждом маршруте рассчитывается методом перебора простых цепей, основанного на использовании математического аппарата случайных графов, согласно ГОСТ Р 53111-2008. Метод расчетной оценки связности между элементами графа с помощью перебора простых цепей заключается в том, что для выбранных полюсов графа сети, в соответствии с алгоритмом установления связи, отмечаются все маршруты (простые цепи), по которым может быть установлено соединение. Под событием связности понимают такое событие, когда между «источком» и «стоком» в работоспособном состоянии существует хотя бы один маршрут (простая цепь). Если между полюсами сети в работоспособном состоянии нет ни одного маршрута, то в двухполюсной сети наступает событие несвязности [5].

Шаг № 1. Вычисление общего количества маршрутов в каждом направлении связи.

Количество маршрутов в направлении связи N_{MNS_i} вычисляется методом полного перебора простых цепей при обходе графа. В табл. 1 приведён пример для расчёта общего количества маршрутов направлений связи 5–10, 15–29, где в графе «рёбра» указаны все возможные последовательности рёбер, обеспечивающие достиже-

ние вершины 10 из вершины 5 и вершины 29 из вершины 15.

Шаг № 2. Объединение маршрутов, проходящих через одинаковые вершины. Вычисление показателя N_{M_x} — количество маршрутов в группе.

Маршруты объединяются в группы по принципу прохождения одинаковых вершин, наименование которых вносится в графу «вершины». В графах «итого рёбер» и «итого вершин» подсчитываются общее количество вершин и рёбер маршрутов в группе. Таким образом определяется показатель — количество маршрутов в группе N_{M_x} , которое фиксируется в графе «Маршрутов в группе» табл. 1. В графе «Итого» подсчитывается общее количество маршрутов между парами вершин 5–10, 15–29.

Шаг № 3. Формирование полной маршрутной карты структуры.

Табл. № 1 заполняется по принципу «каждый с каждым», таким образом, формируется полная маршрутная карта структуры [6].

В табл. 1 представлен фрагмент полной маршрутной карты для открытого сегмента структуры № 2 сети объекта модульного типа.

Шаг № 4. Формирование сводной таблицы характеристик направлений связи для каждой структуры.

На основе сформированных полных маршрутных карт каждой структуры, формируем сводную таблицу характеристик направлений связи для каждой структуры, в которой для каждого направления связи N_i вносим рассчитанное в графе «Итого» табл. 1 количество маршрутов. Далее для каждой структуры путём сложения количества маршрутов в каждом направлении N_{MNS_i} вычисляем общее число маршрутов в структуре N_{Mstr} и вносим в графу «Общее количество маршрутов», табл. 2.

Первый вывод при сравнительной оценке структур можно сделать, проанализировав изменение общего количества маршрутов в структуре и количество маршрутов в каждом направлении при неизменном составе элементов. В табл. 2 и на рис. 4 представлены результаты анализа трёх структур с точки зрения изменения количества маршрутов в каждом направлении, N_{MNS_i} и общего числа маршрутов в структуре N_{Mstr} .

Промежуточный вывод: без изменения состава элементов, с изменением связности общее

Результат анализа трёх структур с точки зрения изменения количества маршрутов

№ направления	Модуль		Направление связи		Количество маршрутов		
					1 структура	2 структура	3 структура
1	1	2	5	10	4	12	20
2	1	3	5	15	4	12	20
3	1	4	5	23	8	10	18
4	1	5	5	29	8	16	28
5	2	3	10	15	4	4	4
6	2	4	10	23	8	12	16
7	2	5	10	29	8	24	40
8	3	4	15	23	8	12	20
9	3	5	15	29	8	24	40
10	4	5	23	29	4	12	14
Общее количество маршрутов					64	138	220

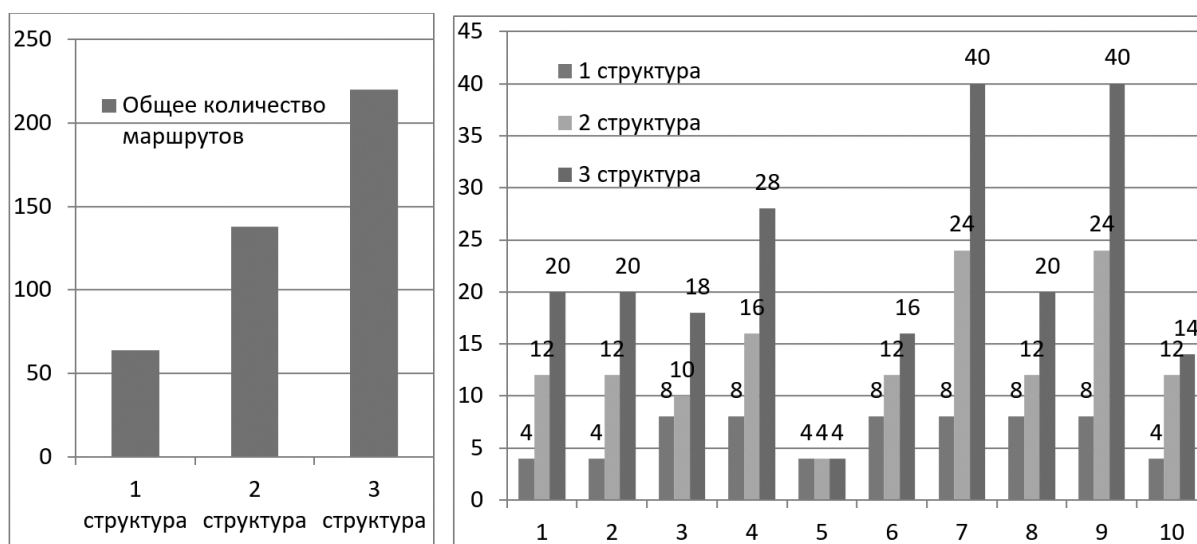


Рис. 4. Диаграмма изменения общего количества маршрутов в различных структурах

к общему объёму переданного трафика во всей сети за время $V_{\text{траф}}(t)$.

$$U_{NS_i} = \frac{V_{\text{траф}NS_i}(t)}{V_{\text{траф}}(t)}.$$

В табл. 3 представлен пример расчёта напряжённости направлений связи. Сам параметр не зависит от структуры сети и применим при дальнейших расчётах для каждой структуры.

Шаг № 6. Задание параметров надёжности элементов структуры (вершин, рёбер).

Для каждого элемента рассматриваемых структур задаётся его надёжность. Как и показатель напряжённости направления связи, показатель надёжности не зависит от структуры

сети, и применим для дальнейших расчётов для каждой структуры. Рассматриваемая методика не рассматривает сложные расчёты общей надёжности, т.к. это не является основной её задачей и является задачей отдельного исследования в целях совершенствования предлагаемой методики. Поэтому, для упрощения расчётов, надёжности каждого элемента являются константами. В качестве примера для проведения реального расчёта введены следующие показатели надёжности, приведённые в табл. 4.

Шаг № 7. Расчёт коэффициента надёжности группы маршрутов KU_{M_x} в направлении связи NS_i , проходящих через одинаковые вершины.

В общем случае надёжность маршрута KU_M рассчитывается по классической фор-

Таблица 3

Расчёт напряжённостей направлений связи

Модуль		Направление связи		Объём переданного трафика (Mbits)	Напряжённость направления связи
1	2	5	10	400	0,33
1	3	5	15	200	0,16
1	4	5	23	150	0,12
1	5	5	29	90	0,07
2	3	10	15	60	0,05
2	4	10	23	70	0,06
2	5	10	29	50	0,04
3	4	15	23	80	0,07
3	5	15	29	50	0,04
4	5	23	29	70	0,06
Общий объём переданного трафика				1220	

Таблица 4

Показатели надёжности элементов

Надёжность элементов	
ребро	0,95
вершина	0,92

муле расчёта надёжности последовательного соединения, как произведение надёжностей всех ребер и всех вершин входящих в маршрут. Однако при расчёте коэффициента надёжности группы маршрутов KU_{M_x} учитывается рассчитанное на шаге 2 количество маршрутов в группе маршрутов проходящих через одни вершины. Таким образом, коэффициент надёжности группы маршрутов рассчитывают по формуле:

$$KU_{M_x} = KU_M \times N_{M_x}.$$

Шаг № 8. Расчёт структурной надёжности направления связи KU_{NS_i} .

В направлении связи NS_i на шаге 7 отдельно подсчитаны надёжности группы маршрутов, проходящих через одинаковые вершины. Каждая такая группа маршрутов является частично зависимой, но в целом содержит в составе разные вершины. Поэтому можно считать такие группы резервирующими и для расчёта структурной надёжности направления связи KU_{NS_i} применить формулу расчёта надёжности параллельного соединения элементов [7].

Коэффициент структурной надёжности направления связи KU_{NS_i} есть величина, объединяющая в себе расчётное количество групп

маршрутов, проходящих через независимые вершины и вычисляется по формуле:

$$KU_{NS_i} = 1 - \prod (1 - KU_{M_x}).$$

Шаг № 9. Расчёт маршрутной мощности направления W_{NS_i} .

Маршрутная мощность направления W_{NS_i} является показателем, объединяющим в себе значения напряженности направления связи U_{NS_i} и коэффициента структурной надёжности направления связи KU_{NS_i} , и вычисляется по формуле:

$$W_{NS_i} = KU_{NS_i} \times U_{NS_i}.$$

Шаг № 10. Расчёт маршрутной мощности структуры W_{STR} .

Маршрутная мощность структуры W_{STR} вычисляется как сумма маршрутных мощностей всех направлений W_{NS_i} , входящих в структуру и вычисляется по формуле:

$$W_{STR} = \sum_1^i W_{NS_i}.$$

Данный показатель позволяет проводить комплексную сравнительную оценку структур

Результаты расчёта маршрутной мощности структур 1, 2, 3

Направление связи	Рёбер в каждом маршруте группы	Вершин в каждом маршруте группы	Структурная устойчивость маршрута	Маршрутов в группе	Структурная устойчивость группы маршрутов	Коэффициент структурной устойчивости направления	Напряжённость направления связи	Маршрутная мощность направления
5-10	6	7	0,41	4	0,79	0,79	0,33	0,26
5-15	6	7	0,41	4	0,79	0,79	0,16	0,13
5-23	7	8	0,36	8	0,72	0,72	0,12	0,09
5-29	7	8	0,36	8	0,72	0,72	0,07	0,05
10-15	6	7	0,41	4	0,79	0,79	0,05	0,04
10-23	7	8	0,36	8	0,72	0,72	0,06	0,04
10-29	7	8	0,36	8	0,72	0,72	0,04	0,03
15-23	7	8	0,36	8	0,72	0,72	0,07	0,05
15-29	7	8	0,36	8	0,72	0,72	0,04	0,03
23-29	6	7	0,41	4	0,79	0,79	0,06	0,05
Маршрутная мощность структуры № 1								0,76
Маршрутная мощность структуры № 2								0,94
Маршрутная мощность структуры № 3								1,14

при развёртывании сетей связи подвижных объектов модульного типа.

Далее в табл. 5 приведены результаты расчёта указных выше коэффициентов с выводом показателя маршрутной мощности структуры в целом.

Таким образом, описанная методика в целом основана на общепринятых и отражённых в ГОСТ механизмах, однако она позволяет учитывать параметры каждого элемента и направления, тем самым, уточняя методику расчёта мощности по ГОСТ [3].

В представленной методике:

- более подробно описан механизм учёта взаимозависимости простых цепей, который описан в ГОСТ [3], как поглощение, по результатам которого исключается многократный учёт надёжностей элементов;

- дополнительно учитываются параметры характеризующие объёмы информационного обмена в каждом направлении;

- описан расчёт показателя маршрутной мощности W_{STR} , при помощи которого можно

проводить предварительный глубокий сравнительный анализ структур сети перед их формированием на реальном оборудовании;

- описан механизм вычисления выигрыша в устойчивости при применении той или иной структуры в планируемой сети.

Литература

1. Министерство информационных технологий и связи Российской Федерации. Приказ № 113 «Об утверждении Требований к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования». — Москва. 27.09.2007.

2. Маршак М.А., Гольдштейн Б.С., Мишин Е.Д., Соколов Н.А., Тум А. Показатели функционирования мультисервисной сети связи общего пользования // Журнал «Техника Связи». Технологии и средства измерений. 2009. № 3–4. С. 25–31.

3. ФГУ «ГНИИИ ПТЗИ ФСТЭК России». ГОСТ Р 53111-2008 Устойчивость функциониро-

вания сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. — Москва. 2008. 16 с.

4. Макаренко С.И. Время сходимости протоколов маршрутизации при отказах в сети // Научно-технический журнал «Системы управления, связи и безопасности». — СПб. 2015. Выпуск. № 2. С. 45–97.

5. 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 // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2019. № 9–10. С. 29–35.

6. Падишин С.А., Грищенко К.А., Сазыкин А.М. Повышение эффективности использования ресурса транспортной сети связи специального назначения за счет применения протоколов агрегирования и балансировки трафика на узлах коммутации // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2019. № 11–12. С. 84–89.

7. 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 // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2020. № 3–4. С. 79–84.

References

1. Ministry of information technologies and communications of the Russian Federation. Order № 113 «On approval of requirements for

organizational and technical support of sustainable operation of the public communication network». — Moscow. 27.09.2007.

2. Marshak M.A., Goldstein B.S., Mishin E.D., Sokolov N.A., Tum A. Indicators of the functioning of a public multi-service communication network // Journal «Communication Technology». Technologies and measuring instruments. 2009. № 3–4. P. 25–31.

3. GOST R 53111-2008 Stability of functioning of communication networks of General use. Requirements and verification methods. — Moscow. 2008.

4. Makarenko S.I. Convergence time of routing protocols in case of network failures // Scientific and technical journal «Control, communication and security systems». — SPb.: Issue № 2. 2015. P. 45–97.

5. 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 // Military Engineering. Issue 16. Counter-terrorism technical devices. 2019. № 9–10. P. 29–35.

6. Padishin S.A., Sazikin A.M., Grischenko K.A. Increase of efficiency of use of resource of a transport network of communication of a special purpose at the expense of application of protocols of haggling and balancing of traffic on switching nodes // Military Engineering. Issue 16. Counter-terrorism technical devices. 2019. № 11–12. P. 84–89.

7. Padishin S.A., Grischenko K.A., Sazikin A.M. 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 // Military Engineering. Issue 16. Counter-terrorism technical devices. 2020. № 3–4. P. 79–84.