

Б. Г. Ибрагимов, А. Г. Гасанов, А. А. Алиева, А. М. Исаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ НА БАЗЕ АРХИТЕКТУРНОЙ КОНЦЕПЦИИ БУДУЩИХ СЕТЕЙ

B. G. Ibragimov, A. G. Gasanov, A. A. Alieva, A. M. Isaev

RESEARCH OF THE PERFORMANCE INDICATORS MULTISERVICE TELECOMMUNICATION NETWORKS BASED ON THE ARCHITECTURAL CONCEPT FUTURE NETWORKS

Аннотация. *Актуальность и цели.* Предметом исследования является анализ показателей качества функционирования мультисервисных телекоммуникационных сетей (МТС) на базе архитектурной концепции будущих сетей *FN* (Future Network) с использованием *SDN & NFV* (Software-Defined Networking & Network Functions Virtualization) и *IMS* (Internet Protocol Multimedia Subsystem) технологий, поддерживающих широкий спектр мультимедийных услуг. *Задача исследования* показателей отказоустойчивости функционирования, пропускные способности системы и угроза информационной безопасности в МТС на базе *FN* при оказании гарантированного качества обслуживания «Triple Play services» является наиболее актуальной. *Материалы и методы.* Для критерия показателей качества функционирования системы выбрана производительность МТС общего пользования, которая отражает способности системы при оказании гарантированного качества обслуживания *QoS* (Quality of Service) мультимедийных услуг. Целью настоящей работы является исследование и оценка характеристик производительности МТС на базе архитектурной концепции будущих сетей *FN* при передаче пакетов полезного и служебного трафиков. Для точного описания и оценки показателей отказоустойчивости функционирования системы, информационной безопасности сетей и граничных показателей качества обслуживания «Triple Play services» предложена математическая модель МТС на базе *FN*, учитывающая наличие множества ресурсов. Предлагаемая математическая модель (ММ) также учитывает показатели отказоустойчивости функционирования системы, особенности новых угроз информационной безопасности и пропускные способности МТС с использованием технологий *SDN/NFV* и *IMS*, а также свойства самоподобного случайного процесса с показателем Херста, H , лежащем в диапазоне $0,5 \leq H < 1$. *Результаты и выводы.* В результате исследования предложена ММ, которая представля-

Abstract. *Background.* The subject of the research is the analysis of the performance indicators multiservice telecommunication networks (MTN) based on the architectural concept future networks *FN* (Future Network) using *SDN & NFV* (Software-Defined Networking & Network Functions Virtualization) and *IMS* (Internet Protocol Multimedia Subsystem) technologies supporting a wide range multimedia services. *The task of re-searching* the performance fault tolerance, system capacity and the threat information security in MTN based on *FN* when providing a guaranteed quality of service “Triple Play services” is the most urgent. *Materials and methods.* For the criterion of the performance of the system, the performance of the public service MTN was selected, which reflect the system's capabilities in providing guaranteed quality of service *QoS* (Quality of Service) multimedia services. The purpose this work is to study and evaluate the performance characteristics MTN based on the architectural concept of future *FN* networks in the transmission of packets useful and service traffic. For an accurate description and assessment of the performance of the system, the information security networks and the boundary indicators quality Triple Play services proposed a mathematical model of MTN based on *FN*, taking into account the presence many resources. The proposed mathematical model (MM) also takes into account the resiliency indicators of the system, features new information security threats and MTN throughput using *SDN/NFV* and *IMS* technologies, as well as the properties of a self-similar random process with the Hurst index H in the $0,5 \leq H < 1$. *Results and conclusions.* As a result of the study, the proposed MM is a multi-channel general type $fBG / G / M_k / N_{\text{об}}$ queuing system with heavy tails. On the basis of the model, analytical expressions are obtained that allow to evaluate the reliability indicators of the system, the information security factor of the software and hardware operation, and the average residence time of the packet of useful and service traffic at the MTN nodes.

ет собой многоканальную систему массового обслуживания общего типа $fBG / G / M_k / N_{\text{бн}}$ с тяжелыми хвостами. На основе модели получены аналитические выражения, которые позволяют оценить показатели надежности функционирования системы, коэффициента информационной безопасности функционирования программно-аппаратных средств и среднее время пребывания потока пакетов полезного и служебного трафиков в узлах МТС.

Ключевые слова: отказоустойчивость, межсетевые экраны, информационная безопасность, защита информации, надежность, производительность сети, несанкционированный доступ.

Keywords: fault tolerance, firewalls, information security, information protection, reliability, network performance, unauthorized access.

Введение

Проблема развития инфраструктуры цифровой экономики и формирование «Дорожной карты цифровизации» на основе перспективных информационно-коммуникационных технологий требуют создания мультисервисных телекоммуникационных сетей (МТС) на базе архитектурной концепции будущих сетей *FN* (Future Network) с повышенным показателем их качества функционирования [1, 2].

В настоящее время показателем качества функционирования системы являются комплексные характеристики МТС общего пользования на базе *FN* с использованием *SDN & NFV* (Software-Defined Networking & Network Functions Virtualization) и *IMS* (Internet Protocol Multimedia Subsystem) технологий [1, 2].

Одним из важных для критерия качества функционирования системы нами выбран показатель производительности МТС общего пользования, который отражает способность системы обеспечивать требуемые комплексные показатели отказоустойчивости функционирования системы, защиты информации от несанкционированных доступов, а также пропускные способности аппаратно-программных средств при оказании гарантированного качества обслуживания *QoS* (Quality of Service) мультимедийных приложений [3, 4].

Задача исследования показателей надежности, пропускных способностей системы и оценки степени угрозы информационной безопасности в пакетной сети МТС на базе *FN* при передаче мультимедийных трафиков и при оказании «Triple Play services» (речи, данные, видео) является наиболее актуальной.

В работах [2, 4, 5] проанализированы методы улучшения отказоустойчивости функционирования системы, пропускные способности аппаратно-программных средств МТС на базе *FN* и алгоритмы защиты информации от несанкционированного доступа. В работах [3, 6–8] исследованы качества функционирования МТС с использованием технологий будущих сетей *FN* и выявлены их основные сетевые показатели. Однако задача исследования качества функционирования МТС на базе сетей *FN* при обслуживании полезных и служебных трафиков еще полностью не решена.

Важный вопрос, возникающий при этом, – исследование и оценка показателей производительности МТС на базе *FN*, которая зависит как от показателей отказоустойчивости функционирования, от пропускных способностей системы, так и от алгоритмов защиты информации, характеризующих показатели качества функционирования системы.

В работе рассматривается решение сформулированной выше задачи – исследование и оценка характеристик производительности МТС на базе архитектурной концепции будущих сетей *FN* при оказании мультимедийных услуг.

Постановка задачи и построение математической модели МТС на базе *FN*

Для точного описания и оценки показателей отказоустойчивости функционирования системы, информационной безопасности сетей и граничных показателей качества обслуживания *QoS* потоков пакетов необходима разработка математической модели, учитывающей наличие множества ресурсов МТС на базе *FN*.

Установлено [2, 4, 6, 9], что исследуемые МТС на базе архитектурной концепции *FN* с использованием технологий *SDN/NFV* и *IMS* представляют собой систему массового обслуживания (СМО),

которая по кодировке Башарина – Кендалла соответствуют общему типу СМО $G / G / N_k / N_{\text{бн}}$ с некоторыми допущениями.

Допустим, что входящий поток пакетов в систему обслуживания имеет произвольные функции распределения с параметром λ_i , длительность обслуживания i -го трафика имеет функцию распределения $B(t)$ с моментами $B^{(i)}$. Предполагаем, что при критической загрузке $\rho_i < 1$, $i = \overline{1, n}$ в узлах МТС число мест для ожидания ограничено $N_{\text{бн}}$. Проведенные исследования показали [6, 9], что современный телекоммуникационный трафик, который можно рассматривать как локально-стационарный случайный процесс, обладает свойствами самоподобия с показателем Херста (H), лежащем в диапазоне $0,5 \leq H < 1$. Тогда изучаемая ММ представляет собой многоканальную систему массового обслуживания общего типа $fBG / G / M_k / N_{\text{бн}}$ с тяжелыми хвостами.

На основе исследования установлено [2, 6], что основным и наиболее востребованным параметром мультимедийных услуг связи является производительность МТС. Производительность МТС на базе FN определяется количеством передаваемых потоков пакетов полезного и служебного трафиков в единицу времени в условиях заданной надежности и информационной безопасности, которые функционально описываются следующим зависимостью:

$$\Pi_{i.\text{пр.}}(\lambda_i, H) = W[E_{i.\text{со.}}, T_{i.\text{в.пр.}}, K_{i.\text{иб.}}], \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где $\Pi_{i.\text{пр.}}(\lambda_i, H)$ – производительность программно-аппаратных средств МТС на основе концепции FN с учетом скорости поступления входящего потока λ_i и коэффициента H при оказании i -й мультимедийной услуги и функционального требования, $i = \overline{1, n}$; $E_{i.\text{со.}}$ – коэффициент сохранения отказоустойчивости программно-аппаратных средств МТС при оказании i -й мультимедийной услуги, $i = \overline{1, n}$; $T_{i.\text{в.пр.}}$ – среднее время пребывания i -го потока пакетов полезного и служебного трафиков в узлах МТС, $i = \overline{1, n}$; $K_{i.\text{иб.}}$ – коэффициент информационной безопасности функционирования программно-аппаратных средств МТС с использованием $SDN \& NFV$ и IMS технологий при обслуживании i -го потока пакетов полезного и служебного трафиков, $i = \overline{1, n}$.

Математическая формулировка задачи создания предлагаемой ММ для оценки показателей качества функционирования МТС на основе концепции FN описывается следующими целевыми функциями:

$$W_{\text{КФ}} = W[\text{Arg max}_i(\Pi_{i.\text{пр.}}(\lambda_i, H))], \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

при следующих ограничениях

$$M_k \leq M_{k.\text{доп.}}, \quad E_{i.\text{со.}} \geq E_{i.\text{со.доп.}}, \quad T_{i.\text{в.пр.}} \leq T_{i.\text{в.пр.доп.}}, \quad K_{i.\text{иб.}} \leq K_{i.\text{иб.доп.}}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где M_k – общее число используемых в сетях МТС комплексов программно-аппаратных средств для обслуживания потока пакетов, работающих на основе алгоритма «End to end»; $T_{i.\text{в.пр.доп.}}$, $M_{k.\text{доп.}}$, $E_{i.\text{со.доп.}}$ и $K_{i.\text{иб.доп.}}$ – соответственно среднее время пребывания, число обслуживающих технических комплексов, коэффициент сохранения отказоустойчивости и коэффициент информационной безопасности функционирования программно-аппаратных средств МТС при передаче i -го потока пакетов, $i = \overline{1, n}$.

Выражения (2) и (3) определяют сущность рассматриваемого нового подхода с учетом самоподобности полезного и служебного трафиков, на основе которого предлагается ММ анализа показателей качества функционирования МТС с использованием FN .

Исследование и оценка показателя отказоустойчивости функционирования МТС на базе архитектурной концепции FN

В работе [10] выявлено, что одним из важнейших критериев качества функционирования МТС на базе архитектурной концепции FN является коэффициент сохранения отказоустойчивости функционирования системы, определяющий показатели надежности сети связи общего пользования.

На основе исследования [2, 7] установлено, что показатель отказоустойчивости МТС на базе *FN* во многом определяется выбором средств обеспечения надежности активных функциональных блоков, таких как коммутаторов и контроллеров с использованием протоколов OpenFlow сетей SDN, межсетевых экранов, а также определяется функциональной архитектурой подсистемы передачи мультимедийных сообщений IMS, групп сетевых серверов, а также граничных маршрутизаторов. Эти элементы сети являются важными и функциональными частями программно-аппаратных средств сетей МТС.

Рассмотрим один из вариантов оценки надежности МТС, состоящей из M_k групп абонентских и сетевых серверов, каждая из которых обслуживает i -е потоки пакетов полезного и служебного трафиков. Оценка надежности сети связи этом случае производится с помощью известного математического аппарата [10]:

$$P_{cc}(\Lambda, t, M_k) = \prod_{i=1}^n [P_i(t, \Lambda_i)]^{M_k}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где $P_i(t, \Lambda_i)$ – вероятность безотказной работы сетей связи с использованием комплекса программно-аппаратных средств.

Выражение (4) характеризует отказоустойчивость функционирования системы с интенсивностью отказов Λ_i узлов коммутации сети МТС.

Учитывая последние предположения, вероятность безотказной работы сетей МТС с использованием M_k групп комплексов программно-аппаратных средств выражается следующим образом:

$$P_{i.ввр}(t, \Lambda_i) = \{1 - [1 - \exp(t, \Lambda_i)]^{M_k}\} \leq P_{i.доп.}(t), \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где Λ_i – интенсивность отказов узлов сети (1/с). Вероятность $P_{i.ввр}(t, \Lambda_i)$ определяется состояниями входных коммутаторов-контроллеров SDN, межсетевых экранов, программных маршрутизаторов NFV и подсистем мультимедийных сообщений IMS, $i = \overline{1, n}$.

Формула (5) характеризует один из важных показателей – коэффициент сохранения отказоустойчивости программно-аппаратных средств МТС $E_{i.co.}$, $i = \overline{1, n}$.

На рис. 1 представлена графическая зависимость общей вероятности безотказной работы сетей МТС на базе *FN* от интенсивности отказов узлов программно-аппаратных средств при заданном коэффициенте загрузки системы.

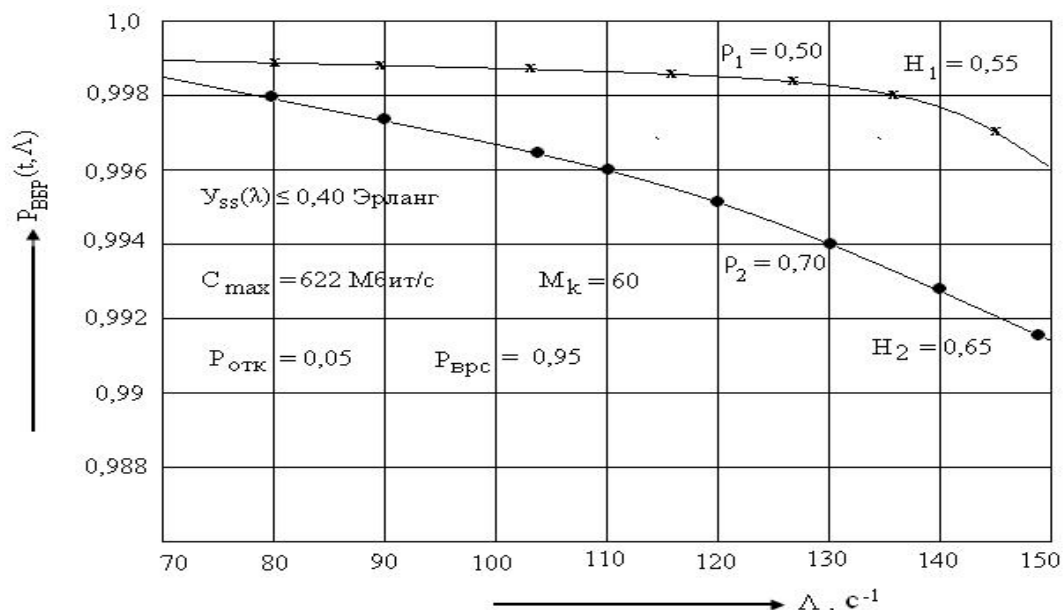


Рис. 1. Графическая зависимость общей вероятности безотказной работы сетей МТС на базе *FN* от интенсивности отказов узлов программно-аппаратных средств

Анализ графической зависимости показывает, что в случае самоподобного трафика $H_1 = 0,55$ и $H_2 = 0,65$ с ростом интенсивности отказов, при интенсивности нагрузки служебного канала $U_{ss}(\lambda) \leq 0,40$, вероятности отказа $P_{отк} = 0,05$, восстановлении работоспособности системы $P_{врс} = 0,95$ и $C_{max} = 622$ Мбит/с, вероятность безотказной работы сети МТС значительно уменьшается. Ее заметное изменение начинается со значений $\Lambda \geq 110 \text{ с}^{-1}$ при $C_{max} = 622$ Мбит/с.

Таким образом, из выражения (7) и анализа приведенных графических зависимостей $P_{врс}(t, \Lambda) = W[H_1, \rho_1, \Lambda, H_2, \rho_2, C_{max}]$ следует, что увеличение количества комплексов программно-аппаратных средств приводит к улучшению отказоустойчивости функционирования сетей МТС, а тем самым улучшает защиту информации от несанкционированных доступов абонентских и сетевых линий связи в целом.

Анализ и оценка информационной безопасности МТС будущего поколения

В МТС с ростом числа *SDN & NFV* и *IMS* технологий потребность в обеспечении информационной безопасности и повышении безопасности передачи полезных и служебных трафиков растет. Одним из потенциальных решений является использование эффективных криптографических методов и методов сетевого кодирования для защиты информации в МТС будущего поколения.

При этом методы криптозащиты каналов связи в МТС не способны полностью защитить от атак *DoS* (Denial of Service) и *DDoS* (Distributed Denial of Service), которые являются инструментом кибератак и киберугрозы информационной безопасности МТС будущего поколения при оказании мультимедийных услуг [2, 5].

Учитывая возможные *DDoS/DoS* атаки, коэффициент безопасности функционирования программно-аппаратных средств МТС при обслуживании i -го потока пакетов трафиков определяется выражением

$$K_{i.об.}(\lambda_i, H_i) = [1 - K_{i.о}(\lambda_i, H_i)] \leq 1, \quad i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

где $K_{i.о}(\lambda_i)$ – коэффициент опасности функционирования системы обслуживании i -го потока пакетов трафиков с интенсивностью λ_i , $i = \overline{1, n}$.

Выражение (6) позволяет оценить уровень защиты информации от новых угроз информационной безопасности при *DDoS/DoS* и кибератаке в МТС, что обеспечивает заданный алгоритм «End to end» и гарантирует приоритизацию обслуживания i -го потока пакетов самоподобного трафика.

Исследование среднего времени пребывания потоков пакетов трафика в сети

На основе анализа модели $fBG / G / M_k / N_{бн}$ выявлено, что одной из ключевых характеристик для оценки производительности сети МТС является среднее время пребывания полезного и служебного трафиков в очереди, может быть определено из решения уравнения Линдли [6, 9].

Учитывая совокупности уравнения Линдли и РК-формулы (Полячека – Хинчина), характеризующие среднее время пребывания i -го потока пакетов в j -м узле коммутации сетей МТС на базе FN, получаем следующее выражение [2]:

$$E[T_{i.в.пр}(\lambda, H, N_{бн} \leq N_{бн.доп.})] = \frac{1}{K_{i.c}} \sum_{j=1}^{M_k} [T_{ij.вых}(\lambda, H) - T_{ij.вх}(\lambda, H)], \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, M_k}, \quad (7)$$

где $K_{i.c}$ – коэффициент сжатия трафика i -го потока пакетов.

Выражение (7) определяет среднее время пребывания в СМО потоков пакетов полезного и служебного трафиков по сети МТС от момента их поступления в буферный накопитель (БН) входного порта коммутатора $T_{ij.вх}(\lambda, H)$ с интенсивностью λ до момента прибытия его в граничной БН контроллер $T_{ij.вых}(\lambda, H)$ выходного порта сети *SDN*.

На рис. 2 представлена графическая зависимость среднего времени пребывания в СМО потоков пакетов трафиков по сети связи от общего числа используемых в сетях МТС комплексов про-

граммно-аппаратных средств при заданной величине коэффициента Херста, $H_i = (0,60, \dots, 0,75)$ и заданной пропускной способности системы.

Анализ графической зависимости $E[T_{в.пр}(\lambda, H)] = F[\rho_i, M_k, H_i, C_{i.max}]$ показывает, что использование минимального числа комплексов программно-аппаратных средств и БН $M_k \leq (55, \dots, 65)$ способствует минимизации среднего времени пребывания в СМО потоков пакетов трафика при заданной максимальной пропускной способности $C_{i.max} \leq 2,50, \dots, 1,0$ Гбит/с и коэффициенте загрузки узлов сети МТС $\rho_i = 0,55, \dots, 0,65$, отвечающей требованиям отказоустойчивости функционирования и информационной безопасности системы.

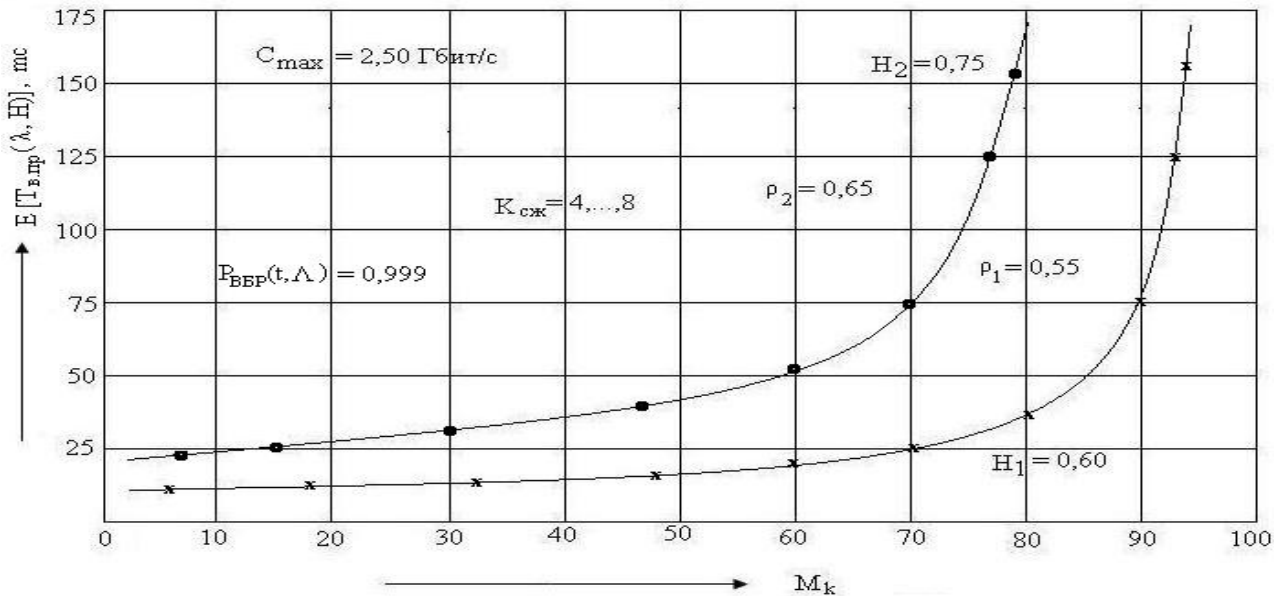


Рис. 2. График зависимости среднего времени пребывания потоков пакетов трафиков в СМО от общего числа комплексов программно-аппаратных средств, используемых в сетях МТС

Таким образом, на основе модели получены аналитические выражения, позволяющие оценить показатели качества функционирования МТС на базе архитектурной концепции *FN* с использованием технологий *SDN/NFV* и *IMS* при оказании мультимедийных услуг.

Заключение

1. На основании полученных результатов были проанализированы показатели качества функционирования МТС на базе архитектурной концепции *FN* с использованием технологий *SDN/NFV* и *IMS* при оказании мультимедийных услуг и предложена ММ, учитывающая характер полезных и служебных самоподобных трафиков, а также наличие множества сетевых ресурсов.
2. В результате исследования получены аналитические выражения, которые позволяют оценить показатели отказоустойчивости функционирования, информационной безопасности системы и среднего времени пребывания пакетов трафиков в СМО при оказании услуги «Triple Play services», обеспечивающие гарантированное качество услуг *QoS*, регламентируемых рекомендациями ITU-T серии Q.1541 и Y.3000.
3. На основе анализа модели аналитические выражения и приведенные графические зависимости показали, что наличие самоподобия в полезном и служебном трафике пакетной сети приводит к существенному ухудшению характеристик качества функционирования МТС на базе архитектурной концепции *FN* с использованием технологий *SDN/NFV* и *IMS* при оказании мультимедийных услуг.

Библиографический список

1. Ефимушкин, В. А. Будущий облик Единой сети электросвязи в Российской Федерации / В. А. Ефимушкин, Ю. М. Козаченко, Т. В. Ледовских, Е. Н. Щербакова // Электросвязь. – 2018. – № 10. – С. 18–27.

2. *Ibrahimov, B. G.* Performance multiservice telecommunication networks based on the architectural concept future networks using SDN technology / B. G. Ibrahimov, R. T. Humbatov, R. F. Ibrahimov // T-Comm, Телекоммуникации и транспорт. – 2018. – Т. 12, № 12. – С. 84–88.
3. *Росляков, А. В.* Будущие сети (Future Networks) / А. В. Росляков, С. В. Ванияшин. – Самара : ПГУТИ, 2015. – 274 с.
4. *Ибрагимов, Б. Г.* Анализ мультисервисных телекоммуникационных сетей связи будущего поколения на базе архитектурной концепции SDN&NFV и IMS / Б. Г. Ибрагимов // Ученые записки АзТУ. – 2018. – № 3. – С. 34–38.
5. *Северцев, Н. А.* Полумарковская модель исследования безопасности систем. Безопасность и надежность системы как объекта, имеющего систему защиты / Н. А. Северцев, А. В. Бецов, Ю. В. Лончаков // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 1(5). – С. 2–8.
6. *Шелухин, О. И.* Моделирование информационных систем / О. И. Шелухин. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2018. – 516 с.
7. *Юрков, Н. К.* К проблеме обеспечения глобальной безопасности / Н. К. Юрков // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2012. – Т. 1. – С. 6–7.
8. *Ибрагимов, Б. Г.* Метод расчета показателей функциональной надежности платформы IMS в телекоммуникационных сетях связи / Б. Г. Ибрагимов, Р. Т. Гумбатов, Р. Ф. Ибрагимов, А. М. Исаев // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2018. – Т. 1. – С. 108–109.
9. *Карташевский, В. Г.* Основы теории массового обслуживания / В. Г. Карташевский. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2013. – 130 с.
10. *Ибрагимов, Б. Г.* Исследование работоспособности подсистемы передачи мультимедийных сообщений в телекоммуникационных сетях связи / Б. Г. Ибрагимов, Я. С. Исаев // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2018. – Т. 1. – С. 10–12.

References

1. Efimushkin V. A., Kozachenko Yu. M., Ledovskikh T. V., Shcherbakova E. N. *Elektrosvyaz'* [Telecommunication]. 2018, no. 10, pp. 18 – 27. [In Russian]
2. Ibrahimov B. G., Humbatov R. T., Ibrahimov R. F. *T-Comm, Telekommunikatsii i transport* [T-Comm, telecommunications and transport]. 2018, vol. 12, no. 12, pp. 84–88. [In Russian]
3. Roslyakov A. V., Vanyashin S. V. *Budushchie seti* [Future Networks]. Samara: PGUTI, 2015, 274 p. [In Russian]
4. Ibragimov B. G. *Uchenye zapiski AzTU* [Scientific notes of ASTU]. 2018, no. 3, pp. 34–38. [In Russian]
5. Severtsev N. A., Betskov A. V., Lonchakov Yu. V. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem* [Reliability and quality of complex systems]. 2014, no. 1 (5), pp. 2–8. [In Russian]
6. Shelukhin O. I. *Modelirovaniya informatsionnykh sistem* [Modeling of information systems]. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2018, 516 p. [In Russian]
7. Yurkov N. K. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the International Symposium Reliability and quality]. 2012, vol. 1, pp. 6–7. [In Russian]
8. Ibragimov B. G., Gumbatov R. T., Ibragimov R. F., Isaev A. M. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the International Symposium Reliability and quality]. 2018, vol. 1, pp. 108–109. [In Russian]
9. Kartashevskiy V. G. *Osnovy teorii massovogo obsluzhivaniya* [Fundamentals of Queuing theory]. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2013, 130 p. [In Russian]
10. Ibragimov B. G., Isaev Ya. S. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the International Symposium Reliability and quality]. 2018, vol. 1, pp. 10–12. [In Russian]

Ибрагимов Байрам Ганимат оглы

доктор технических наук, профессор,
кафедра телекоммуникационных систем
и информационной безопасности,
Азербайджанский технический университет
(Az1073, Азербайджан, г. Баку, пр. Г. Джавида, 25)
E-mail: i.bayram@mail.ru

Гасанов Ариф Гасан оглы

адъюнкт,
Военная академия Вооруженных сил
Азербайджанской Республики,
(Az1065, Азербайджан, г. Баку, Гызыл Шерг, 13)
E-mail: arifhasan2828@yandex.ru

Ibrahimov Bayram Ganimat oglu

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of telecommunication systems
and security information,
Azerbaijan Technical University
(Az1073, 25 G. Javid avenue, Baku, Azerbaijan)

Hasanov Arif Hasan oglu

adjunct,
Military Academy of the Armed Forces
of the Republic of Azerbaijan
(Az1065, 13 Gyzyly Sherg, Baku, Azerbaijan)

Алиева Алмаз Али кызы

кандидат технических наук,
и.о. зав. кафедры информационных технологий,
Мингечаурский государственный университет
(Az1148, Азербайджан, г. Баку,
ул. академика Захида Халипова, 23)
E-mail: almaz40@gmail.com

Aliyeva Almaz Ali kizi

candidate of technical sciences,
acting head of sub-department
of information technologies,
Mingechaur State University
(Az1148, 23 Academician Zahid Khalipov street,
Baku, Azerbaijan)

Исаев Ахад Муртуз оглы

адъюнкт,
Военная академия Вооруженных сил
Азербайджанской Республики,
(Az1065, Азербайджан, г. Баку, Гызыл Шерг, 13)
E-mail: axadisayev@mail.ru

Isaev Ahad Murtuz oglu

adjunct,
Military Academy of the Armed Forces
of the Republic of Azerbaijan
(Az1065, 13 Gyzyl Sherg, Baku, Azerbaijan)

УДК 621.396.6

Ибрагимов, Б. Г.

Исследование показателей качества функционирования мультисервисных телекоммуникационных сетей на базе архитектурной концепции будущих сетей / Б. Г. Ибрагимов, А. Г. Гасанов, А. А. Алиева, А. М. Исаев // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 1 (25). – С. 88–95. – DOI 10.21685/2307-4205-2019-1-10.