

# МОДЕЛЬ ОПЕРАТОРСКОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА IP-УСЛУГ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ITU-T Y.1540, Y.1541, Y.1543

**С. А. Владимиров\*, Д. С. Кабытова**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

\*Адрес для переписки: vlsa.vlcom@yandex.ru

**Аннотация—Предмет исследования.** Статья рассматривает модель операторской системы мониторинга качества IP-услуг в соответствии с требованиями ITU-T Y.1540, Y.1541, Y.1543.

**Метод.** Реализация обобщенной модели мониторинга как программного приложения на базе двух серверной системы контроля. **Основные результаты.** Предложен вариант модели и схема взаимодействия элементов системы мониторинга. Выработаны рекомендации по структуре системы и предложены формулы расчета показателей. Выполнена пробная оценка сегмента сети общего пользования в UNI-точках. **Практическая значимость.** Рассмотренная модель и подходы к ее реализации позволяют выполнять контроль операторских сетей в соответствии с требованиями ITU-T и способствовать развитию сетей и новых услуг передачи данных.

**Ключевые слова**—модель, система мониторинга, качество IP-услуг, показатели мониторинга, сегмент сети передачи данных.

**Информация о статье**

УДК 004.738, 621.391

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 20.08.20, принята к печати 23.09.20.

**Ссылка для цитирования:** Владимиров С. А., Кабытова Д. С. Модель операторской системы мониторинга качества IP-услуг в соответствии с требованиями ITU-T Y.1540, Y.1541, Y.1543 // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 3. С. 39–54. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-3-39-54.

# MODEL OF AN OPERATOR SYSTEM FOR THE IP SERVICES QUALITY MONITORING IN ACCORDANCE WITH THE ITU-T REQUIREMENTS **Y.1540, Y.1541, Y.1543**

**S. Vladimirov\*, D. Kabytova**

The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

\*Corresponding author: vlsa.vlcom@yandex.ru

**Abstract—Research subject.** The paper considers the model of the operator's system for monitoring the quality of IP services in accordance with the requirements of ITU-T Y.1540, Y.1541, Y.1543.

**Method.** Implementation of a generalized monitoring model as a software application based on a two server control system. **Core results.** A variant of the model and a scheme of the monitoring system elements interaction are proposed. Recommendations on the structure of the system have been developed and formulas for calculating indicators have been proposed. A trial assessment of the public network segment at UNI points was carried out. **Practical relevance.** The considered model and approaches to its implementation will allow to monitor operator networks in accordance with ITU-T requirements and promote the development of networks and new data transmission services.

**Keywords**—model, monitoring system, quality of IP services, monitoring indicators, data network segment.

## **Article info**

Article in Russian.

Received 20.08.20, accepted 23.09.20.

**For citation:** Vladimirov S., Kabytova D.: Model of an operator system for the IP services quality monitoring in accordance with the ITU-T requirements Y.1540, Y.1541, Y.1543 // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 3. pp. 39–54 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-3-39-54.

На современном этапе развития операторские сети передачи данных стремительно совершенствуются, и в свою очередь создают основу для формирования современных систем цифрового телевидения, больших социальных сетей и распределенных интернет-порталов, сетевых информационных государственных и бизнес-систем большой размерности, включая системы распределенных вычислений и услуг. Совокупность «операторов связи-поставщиков услуг» и «абонентов-потребителей» информации сформировалась в единое информационное пространство.

Для операторской сети даже среднего уровня суммарный объем данных по трафику, который необходимо переработать и оценить, исчисляется гигабайтами. Однако качество обслуживания клиентов сети нельзя оценить объемом трафика. Необходимо принимать во внимание множество факторов влияния на трафик и оценивать такие параметры, как пропускная способность каналов, задержки в прохождении пакетов, количество пакетов, переданных с недопусти-

мыми задержками и другие. С учетом ограниченного количества операторов контроля системных параметров сети встает вопрос о том, что значительная часть собранной статистики работы сети оказывается невостребованной, и в большом числе случаев даже она не позволяет однозначно охарактеризовать качество работы сети за определенный период. Необходимы активный режим тестирования операторской сети, анализ получаемых параметров и текущий оперативный контроль качества сети и предоставляемых на ней услуг [1].

В рамках телекоммуникационного рынка значительную роль в развитии современных востребованных услуг играет возрастающая конкуренция операторов-поставщиков. Немалую роль в успехе работы операторов связи и провайдеров услуг играет человеческий фактор – мнение пользователей, у которых в современных условиях есть выбор, к какому именно оператору-провайдеру следует подключиться. Это ставит вопросы качества услуг связи и обслуживания абонентов на первую ступеньку среди прочих.

По оценкам конечного абонента-пользователя выбор оператора связи-поставщика услуг следует производить по двум потребительским свойствам или признакам:

- надежность и безотказность работы сети связи и предоставляемых ею услуг определяется временем простоев, связанных с ремонтом и устранением неисправностей, в отношении к тому или иному стандартному промежутку или временем некачественного предоставления услуги, например, «плохой картинки» IPTV и т. д.;

- соответствие технических значений реального и обещанного быстродействия канала доступа по совокупности тех услуг, на получение которых пользователь рассчитывал в соответствии с заключенным договором услуг, включая и мультимедиа-услуги.

Так как политика развития операторских сетей доступа напрямую связана с динамикой прибыли, качественно решить задачу прогнозирования в сфере развития сети и предоставления новых услуг телекоммуникаций не удается без тщательного мониторинга и анализа существующего положения на сети, а также контроля ситуации в будущем планируемом фрагменте этой сети.

Технология построения системы мониторинга включает в себя осуществление двух неразрывно взаимоувязанных этапов: технологию организации мониторинга и архитектуру построения. Технологию построения и функционирования системы мониторинга в полной мере определяет состав услуг и структура операторской сети. Обобщенная схема условной операторской сети представлена на рис. 1 и включает в себя 5 основных структурных блоков: ядро сети, региональную магистральную сеть, сети доступа, узлы присоединения сторонних операторов и сети абонентов СЕ. Ядро сети традиционно содержит пограничные маршрутизаторы РЕ, присоединяющие операторскую сеть к вышестоящему оператору, маршрутизаторы ядра сети SP1-SPJ, агрегирующие на себя все услуги и сети доступа, сервисные подсети организации услуг IPTV, SSW, BRAS и сервера мониторинга сети Nagios и контроля качества QoS [2]. Сети доступа включают в себя сети агрегации доступа и услуг MPLS/ME, пограничные маршрутизаторы РЕ, коммутаторы, сервера доступа NAS в соответствии с технологиями сетей доступа PON, FTTB, ADSL, рабочие места администраторов сетей и операторов услуг У [3]. Присоединенные клиенты QoS, через которых осуществляется активный мониторинг качества в соответствии с рекомендациями ITU-T Y.1540, Y.1541,

Y.1543, показаны в соответствии с предлагаемой ITU-T Y.1543 архитектурой контроля качества услуг и сетей и в соответствии с уровнем SLA, объявленным оператором связи в точках контроля<sup>1, 2, 3</sup> [4].

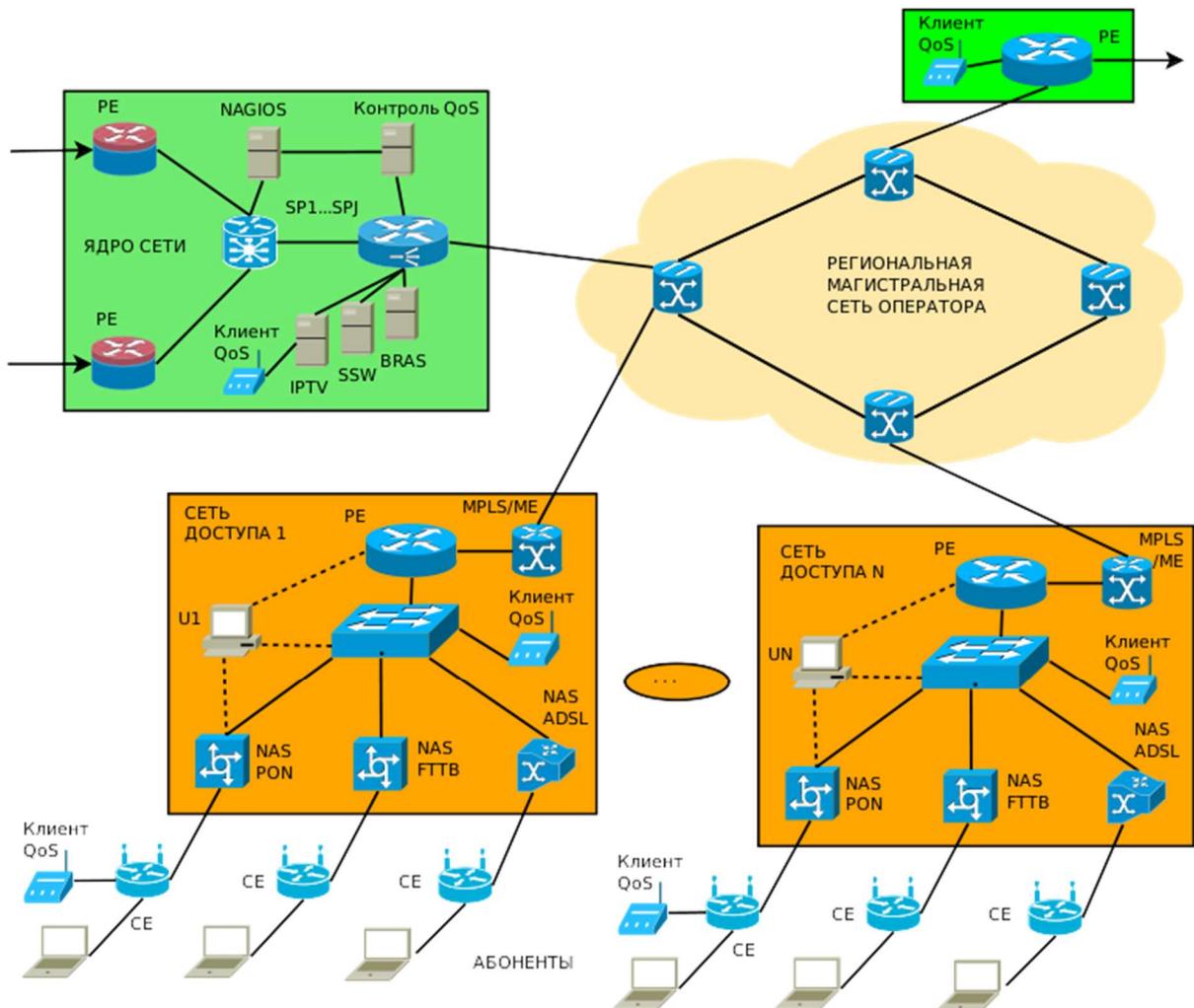


Рис. 1. Обобщенная схема условной операторской сети

Система мониторинга телекоммуникационной сети оператора связи построена как динамическая многомерная система с двумя основными векторными функциями контроля параметров, из которых каждая реализуется на своей серверной подсистеме (рис. 1). Итоговая функция мониторинга равна:

$$SLA[j] = \vec{H}(t) = \vec{D}(t) \vee \vec{\Theta}(t),$$

<sup>1</sup> ITU-T Y.1540 IP Packet Transfer and Availability Performance Parameters: ITU-T SG12. Series Y: Global information infrastructure, Internet protocol aspects, next-generation networks, Internet of Things and smart cities. ITU, 2019.

<sup>2</sup> ITU-T Y.1541 Network performance objectives for IP-based services: ITU-T SG12. Series Y: Global information infrastructure, Internet protocol aspects, next-generation networks, Internet of Things and smart cities. ITU, 2011.

<sup>3</sup> ITU-T Y.1543 Measurements in Internet protocol networks for internet-domain performance assessment: ITU-T SG12. Series Y: Global information infrastructure, Internet protocol aspects, next-generation networks, Internet of Things and smart cities. ITU, 2018.

где  $\vec{D}(t)$  – векторная многомерная параметрическая функция системы мониторинга Nagios;

$j$  – нумерация услуг на сети оператора;

$\vec{\Theta}(t)$  – параметрическая функция качества трехуровневой системы мониторинга и контроля качества QoS. В рамках эксплуатации сети оператора связи решает задачу мониторинга путем периодического контроля двухкомпонентной системы мониторинга  $\vec{D}(t)$  и  $\vec{\Theta}(t)$  [2, 5].

Функция системы Nagios  $\vec{D}(t)$  является функцией оценки эффективности управления и параметрической оптимизации управления с учетом взаимодействия всех уровней полного комплекса телекоммуникационной сети оператора связи и представляется разветвленным графом, изображенным на рис. 2. Отдельные ветви этого графа представляют собой функциональные деревья в соответствии с направленностью или назначением сетей, подсетей и сетевых фрагментов [6].

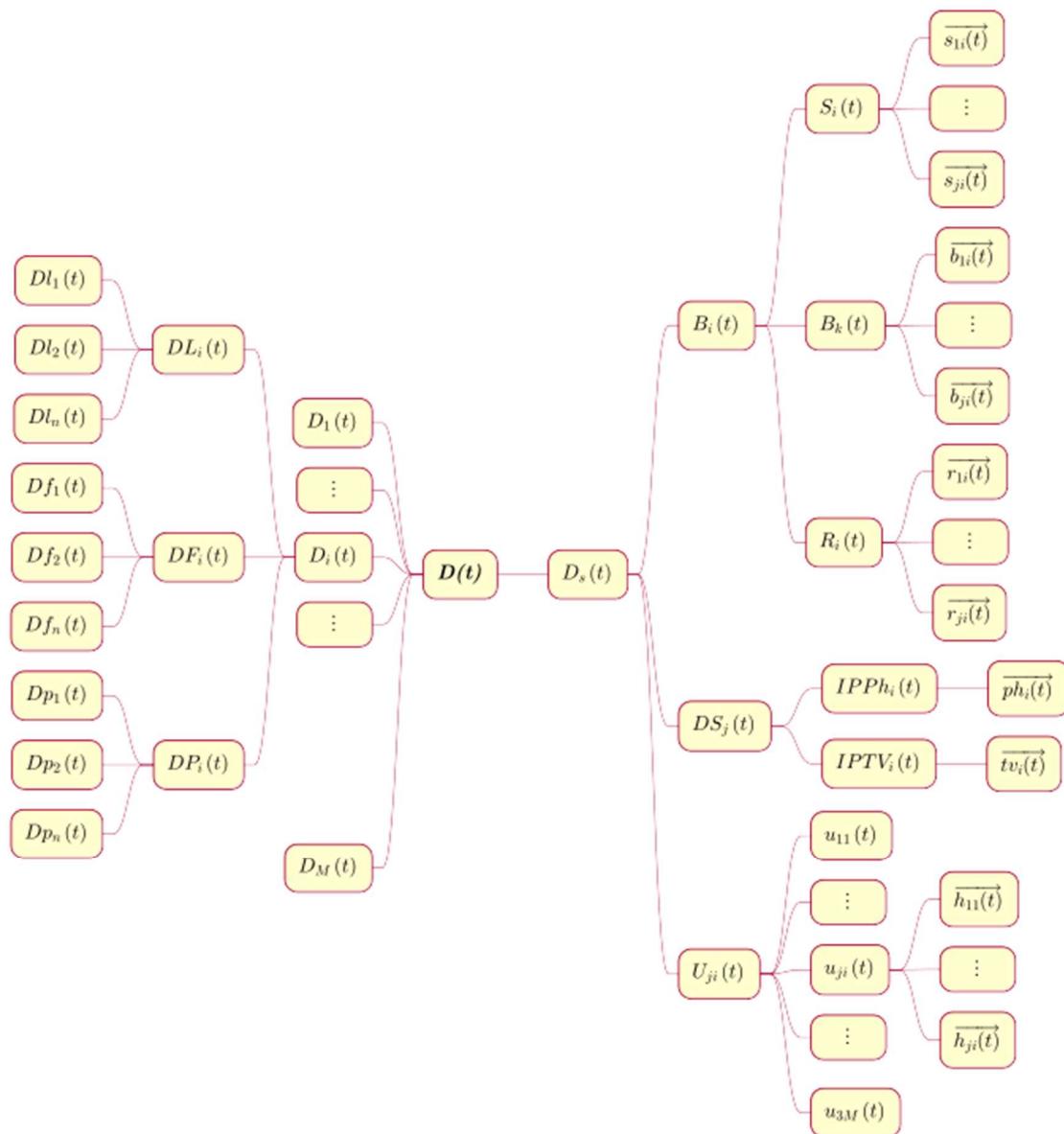


Рис. 2. Граф функций системы мониторинга Nagios,  $\vec{D}(t)$

Основных функциональных ветвей две. Левее идет ветвь контроля муниципальных районных сетей  $D_1(t), D_i(t), \dots, D_M(t)$ , отображающая текущее (или за период) состояние сетей доступа, включая региональную магистральную сеть с участками транзита. Вправо идет функциональная комплексная ветвь серверного контроля  $D_s(t)$ , включающая контроль сети серверов услуг  $DS_j(t), B_i(t)$  и технологический контроль управления  $U_{ji}(t)$  с удаленными рабочими местами операторов в районах (на рис. 1 показаны как U1 для первой муниципальной сети) [7].

1. Ветвь серверного контроля:

$D_s(t)$  – комплексная функция серверного контроля:

$$D_s(t) = \overline{B_i(t)} \vee \overline{DS_j(t)} \vee \overline{U_{ji}(t)}.$$

• Ветвь контроля первичного учета, биллинговых систем и систем типа Radius:

$B_i(t)$  – функция контроля биллинговых серверов и первичного учета:

$$B_i(t) = \sum_{i=1}^B (\mu_i^s \wedge S_i(t) \vee \mu_i^b \wedge B_k(t) \vee \mu_i^r \wedge R_i(t)).$$

$S_i(t)$  – функция контроля хостов и серверов сбора файлов первичного учета серверов доступа;

$B_k(t)$  – функция контроля файлов биллинговой системы;

$R_i(t)$  – функция контроля серверов AAA типа Radius:

$$S_i(t) = \sum_{i=1}^N \overrightarrow{\lambda_i} \wedge \overrightarrow{s_{ji}},$$

$$B_k(t) = \sum_{k=1}^K \overrightarrow{\lambda_k} \wedge \overrightarrow{b_{ji}},$$

$$R_i(t) = \sum_{i=1}^N \overrightarrow{\lambda_i} \wedge \overrightarrow{r_{ji}},$$

где  $\overrightarrow{\lambda_{i,k}}$  – векторный весовой коэффициент текущей работоспособности  $i,k$ -го хоста или сервера;

$\overrightarrow{s_{ji}}, \overrightarrow{b_{ji}}, \overrightarrow{r_{ji}}$  – вектор показателей системы Nagios, заданный для  $i,k$ -го хоста или сервера в соответствии с плагинами контроля параметров Nagios;

$j$  – условный номер услуги (например: 1 – интернет и сеть доступа, 2 – серверные сети и сети управления услугой IPTV, 3 – серверные сети и сети управления голосовых услуг IP-Phone);

$i,k$  – порядковая нумерация серверов и хостов [6].

• Ветвь контроля серверов услуг и сервисов:

$DS_j(t)$  – комплексная функция контроля серверов услуг оператора:

$$DS_j(t) = \sum_{i=1}^{DS} (\mu_i^{tv} \wedge IPTV_i(t) \vee \mu_i^{ph} \wedge IPPh_i(t)),$$

$IPTV_i(t)$  – комплексная функция контроля серверов услуг IPTV:

$$IPTV_i(t) = \sum_{i=1}^N \vec{\lambda}_i \wedge \vec{tv}_i,$$

где  $\vec{\lambda}_i$  – векторный весовой коэффициент текущей работоспособности  $i$ -го сервера;

$\vec{tv}_i$  – вектор показателей системы Nagios, заданный для  $i$ -го сервера.

$IPPh_i(t)$  – комплексная функция контроля серверов услуг IP-Phone:

$$IPPh_i(t) = \sum_{i=1}^N \vec{\lambda}_i \wedge \vec{ph}_i,$$

где  $\vec{\lambda}_i$  – векторный весовой коэффициент текущей работоспособности  $i$ -го сервера;

$\vec{ph}_i$  – вектор показателей системы Nagios, заданный для  $i$ -го хоста или сервера.

- Ветвь контроля систем управления рабочих мест:

$U_{ji}(t)$  – комплексная функция контроля за рабочими местами операторов управления услугами (технологические сети управления услугами):

$$U_{ji}(t) = \sum_{i=1}^U \vec{\mu}_i^h \wedge u_{ji}(t),$$

где  $u_{ji}$  – итоговый показатель технологической сети муниципального района:

$$u_{ji}(t) = \sum_{i=1}^N \vec{\lambda}_i \wedge \vec{h}_{ij},$$

где  $\vec{\lambda}_i$  – векторный весовой коэффициент текущей работоспособности  $i$ -го хоста (рабочее место оператора управления услугами в технологической сети управления);

$\vec{\mu}_i^h$  – векторный весовой коэффициент текущей работоспособности  $i$ -й технологической сети управления;

$\vec{h}_{ij}$  – вектор показателей системы Nagios, в соответствии с запущенными плагинами, заданный для  $i$ -го хоста или рабочего места оператора [2].

2. Ветка контроля сети муниципальных районов:

$D_i(t)$  – комплексная оценка эффективности работы абонентской сети муниципального района,  $i = 1 \dots M$ , где  $M$  – количество муниципальных районов:

$$D_i(t) = \sum_{i=1}^M (\mu_i^{dnl} \wedge DL_i(t) \vee \mu_i^{dnf} \wedge DF_i(t) \vee \mu_i^{dnp} \wedge DP_i(t)),$$

где  $\mu_i^{dnl}$ ,  $\mu_i^{dnf}$ ,  $\mu_i^{dnp}$  – коэффициент текущей работоспособности  $i$ -й сети доступа.

$DL_i(t)$ ,  $DF_i(t)$ ,  $DP_i(t)$  – функции комплексной оценки эффективности работы систем доступа проводной сети, сети FTTB, сети PON  $i$ -го района:

$$DL_i(t) = \sum_{n=1}^N \overrightarrow{\lambda_n} \wedge \overrightarrow{Dl_n},$$

$$DF_i(t) = \sum_{n=1}^N \overrightarrow{\lambda_n} \wedge \overrightarrow{Df_n},$$

$$DP_i(t) = \sum_{n=1}^N \overrightarrow{\lambda_n} \wedge \overrightarrow{Dp_n},$$

где  $\overrightarrow{\lambda_n}$  – векторный весовой коэффициент текущей работоспособности  $i$ -ого сервера доступа NAS;

$\overrightarrow{Dl_n}$ ,  $\overrightarrow{Df_n}$ ,  $\overrightarrow{Dp_n}$  – параметрические показатели эффективности работы серверов доступа (NAS ADSL, FTTB, PON), полученные от системы Nagios (формируются системой в зависимости от запрограммированных плагинов и активных скриптов контроля параметров) [6]:

$$\begin{vmatrix} dl_{11} & dl_{12} & \cdots & dl_{1n} \\ dl_{21} & dl_{22} & \cdots & dl_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ dl_{n1} & dl_{n2} & \cdots & dl_{nn} \end{vmatrix},$$

$$\begin{vmatrix} df_{11} & df_{12} & \cdots & df_{1n} \\ df_{21} & df_{22} & \cdots & df_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ df_{n1} & df_{n2} & \cdots & df_{nn} \end{vmatrix},$$

$$\begin{vmatrix} dp_{11} & dp_{12} & \cdots & dp_{1n} \\ dp_{21} & dp_{22} & \cdots & dp_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ dp_{n1} & dp_{n2} & \cdots & dp_{nn} \end{vmatrix}.$$

В результате, векторная трехуровневая параметрическая функция системы мониторинга Nagios:

$$(t) = \overrightarrow{D_s(t)} \wedge \overrightarrow{T_s} \vee \overrightarrow{D_i(t)},$$

где  $\overrightarrow{T_s}$  – временное окно интервалов контроля работы серверов, технологических сетей и рабочих мест управления сетью оператора связи [3, 8].

Функция системы мониторинга качества  $\Theta(t)$  представлена графом, изображённым на рис. 3. Время  $t$  в модели сети подменяется на время  $z$  в связи с собственным и независимым от Nagios временем, шкала которого формируется в соответствии с периодичностью измерений качества на серверах контроля QoS (обычно формируется регламентом или расписанием контроля качества) и в соответствии с количеством услуг и размерами муниципальных сетей [9].

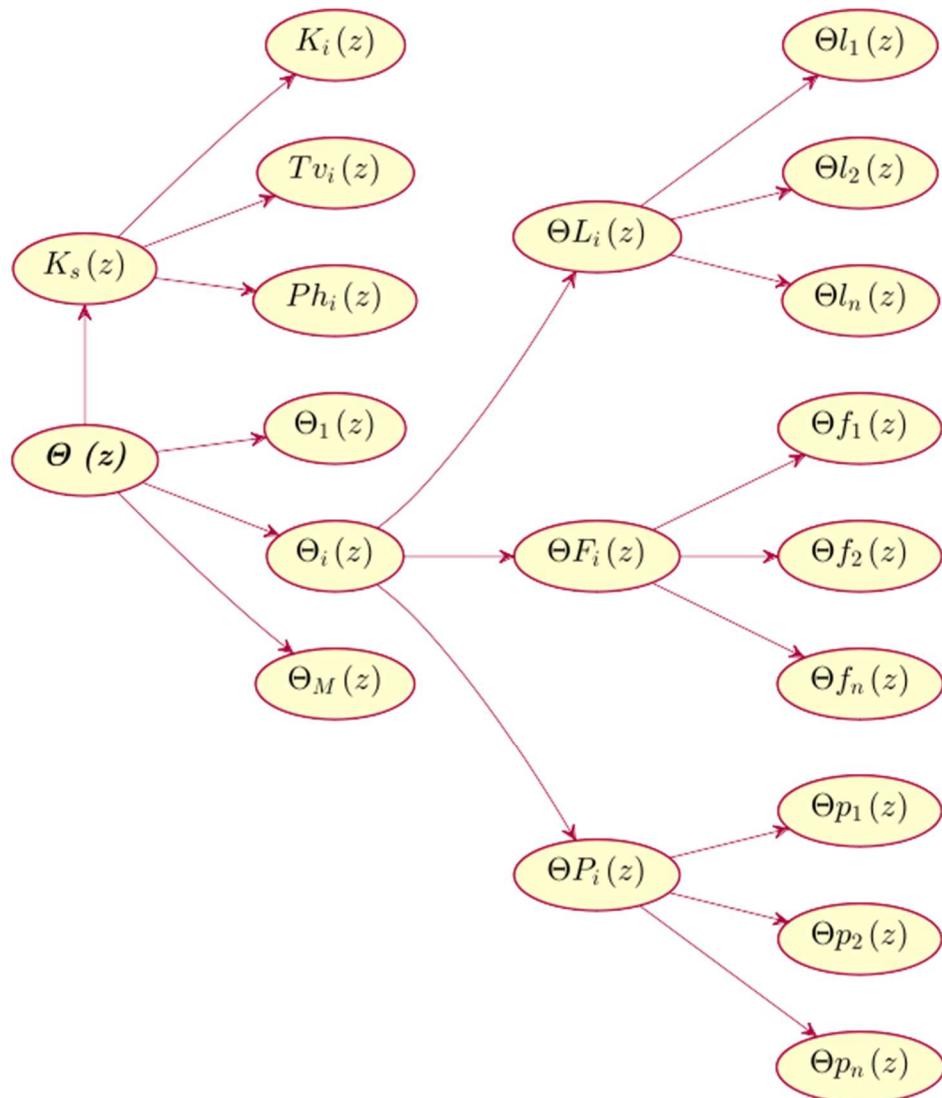


Рис. 3. Граф функций мониторинга и контроля качества QoS

$K_s(z)$  – показатель сквозной оценки качества услуг сегмента ядро сети – сети агрегации доступа (от серверов услуг и присоединяющих сеть оператора сегментов сети до муниципальных сетей агрегации доступа в районах – сквозной контроль качества услуг на магистральном участке сети):

$$K_s(z) = \sum_{i=1}^M (K_i(z) \vee Tv_i(z) \vee Ph_i(z)) = \sum_{i=1}^M \left( \left[ \sum_{n=1}^N \vec{\lambda}_n \wedge \vec{k}_n \right] \vee \left[ \sum_{n=1}^N \vec{\lambda}_n \wedge \vec{tv}_n \right] \vee \left[ \sum_{n=1}^N \vec{\lambda}_n \wedge \vec{ph}_n \right] \right),$$

где  $\vec{k}_n, \vec{tv}_n, \vec{ph}_n$  – показатели качества клиентов системы контроля качества для разных видов услуг (данные и Internet, IPTV, голосовые услуги IP-Phone).

$\Theta_i(z)$  – показатель системы мониторинга качества сети муниципального района,  $i = 1 \dots M$ , где  $M$  – количество муниципальных районов:

$$\Theta_i(z) = \sum_{i=1}^M (\mu_i^{\theta ln} \wedge \Theta L_i(z) \vee \mu_i^{\theta fn} \wedge \Theta F_i(z) \vee \mu_i^{\theta pn} \wedge \Theta P_i(z)),$$

где  $\mu_i^{\theta ln}, \mu_i^{\theta fn}, \mu_i^{\theta pn}$  – коэффициенты текущей работоспособности сети (используются при проведении на сети ремонтных или монтажных работ по развитию сетей доступа технологий ADSL, FTTB, PON) [10].

$\Theta L_i(z), \Theta F_i(z), \Theta P_i(z)$  – функции комплексной оценки качества сети доступа проводной сети ADSL, сетей FTTB, сетей PON  $i$ -го района:

$$\Theta L_i(z) = \sum_{n=1}^N \vec{\lambda}_n \wedge \vec{\theta l}_n,$$

$$\Theta F_i(z) = \sum_{n=1}^N \vec{\lambda}_n \wedge \vec{\theta f}_n,$$

$$\Theta P_i(z) = \sum_{n=1}^N \vec{\lambda}_n \wedge \vec{\theta p}_n,$$

где  $\vec{\lambda}_n$  – векторный весовой коэффициент текущих показателей качества клиентов системы контроля качества QoS в соответствии с технологией доступа;

$\vec{\theta l}_n, \vec{\theta f}_n, \vec{\theta p}_n$  – параметрические показатели системы контроля качества сети доступа (контроль сетей по разным технологиям, в каждом сегменте сети доступа свои клиенты) – матрицы полученных в соответствии с ITU-TY.1540 параметров:

$$\begin{vmatrix} \theta l_{11} & \theta l_{12} & \cdots & \theta l_{1n} \\ \theta l_{21} & \theta l_{22} & \cdots & \theta l_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta l_{n1} & \theta l_{n2} & \cdots & \theta l_{nn} \end{vmatrix},$$

$$\begin{aligned} & \left\| \begin{array}{cccc} \theta f_{11} & \theta f_{12} & \cdots & \theta f_{1n} \\ \theta f_{21} & \theta f_{22} & \cdots & \theta f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta f_{n1} & \theta f_{n2} & \cdots & \theta f_{nn} \end{array} \right\|, \\ & \left\| \begin{array}{cccc} \theta p_{11} & \theta p_{12} & \cdots & \theta p_{1n} \\ \theta p_{21} & \theta p_{22} & \cdots & \theta p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta p_{n1} & \theta p_{n2} & \cdots & \theta p_{nn} \end{array} \right\|, \end{aligned}$$

которые далее могут суммироваться с сегментными показателями  $K_s(z)$  и становиться в соответствие классам QoS согласно ITU-T Y.1541<sup>4</sup> [8].

В результате векторная двухуровневая параметрическая функция системы контроля качества:

$$\Theta(z) = \overline{K_s(z)} \wedge \overline{Tz} \vee \overline{\Theta_i(z)},$$

где  $\overrightarrow{Tz}$  – временное окно интервалов контроля работы сетей (расписание проведения тестов).

Функция преобразования, задаваемая оператором связи согласно SLA, определенных внутренними приказами предприятий – операторов связи и классами качества QoS ITU-T Y.1541:

$$\Theta(t) = F(\Theta(z) \in \overrightarrow{Tz} \cap \overrightarrow{T_s})$$

формирует и обеспечивает стык контролируемых параметров в соответствии с текущим временем  $t$  и последним временем контроля параметров качества  $z$ .

Третий уровень в системе контроля качества задается оперативными тестами, производимыми работниками оператора, обслуживающими сеть в соответствии с производственным заданием вручную – без расписания по мере необходимости при оперативном контроле качества сегментов сети. Частью третьего уровня контроля предполагаются и абонентские тесты контроля качества в соответствии с рекомендациями ITU-T Y.1543. Этот уровень может представлять свои показатели как полностью независимая экспертная система или как встроенная в общую систему подсистема показателей качества. Этот порядок определяется техническими службами оператора в соответствии с внутренними регламентирующими приказами. В соответствии с этими указаниями модель дополняется необходимыми аналитическими выражениями для показателей качества сегмента,

---

<sup>4</sup> ITU-T Y.1541 Network performance objectives for IP-based services: ITU-T SG12. Series Y: Global information infrastructure, Internet protocol aspects, next-generation networks, Internet of Things and smart cities. ITU, 2011.

сети, маршрута. Аналогично могут быть дополнены показатели качества тестирования на межоператорских сегментах сетей общего пользования<sup>5</sup> [11].

Системы Nagios широко используются на сетях многих операторов как системы общего мониторинга и как подсистемы локального мониторинга на фрагментах сетей, в том числе и в муниципальных сетях, и в локальных подсетях, и у присоединённых операторов<sup>6</sup> [2].

Система контроля качества QoS представляет собой программную реализацию системы тестирования, разработанную на кафедре ССПД СПбГУТ, в активном режиме работы типа сервер-клиент, размещаемую в точках контроля сегментов сети. Измерения производят сервер согласно заданного расписания контроля. Клиент только обозначает свою активность и готовность к проведению тестирования, в ходе которого перенаправляет обратно к серверу полученные от него пакеты. Такая организация тестирования позволяет не проводить синхронизацию времени между сервером и клиентом. Клиенты могут быть присоединены в любых доступных точках сети. Количество серверов и клиентов определяет оператор внутренними регламентирующими SLA документами [12, 13].

Присоединенная к Nagios система контроля качества QoS предоставляет результаты мониторинга в виде векторного набора параметров, отображаемых для наглядности в виде графиков задержки, джиттера, функции плотности распределения задержки и потери пакетов (для транспортного протокола UDP). Из полученных данных по формулам Литтла оценивается скорость передачи и относительная погрешность доступной пропускной способности

$$BR = \frac{(L_2 - L_1)}{(IPTD_2 - IPTD_1)}, \text{бит} \cdot \frac{\text{с}}{\text{с}}, \quad \eta = \frac{2 * \Delta TD * 100}{(IPTD_2 - IPTD_1)}, \%,$$

где  $L$  – длина пакета, бит;

$IPTD$  – время задержки пакета UNI-UNI, мкс;

$\Delta TD$  – точность измерения задержки, 1 мкс.

Измерения проводились для протоколов транспортного уровня TCP и UDP с изменением длины пакета от 65 до 1 300 байт с шагом 65 байт по 100 измерений для каждой длины пакета в одном сеансе тестирования (2 000 измерений в каждом сеансе). Для оценки качества пробного сегмента сети было выбрано два тестирования по протоколам TCP и UDP из 20 сеансов в каждом, которые проводились около 18:00 в г. Санкт-Петербург в UNI-точках:

- клиент – ул. Студенческая, коллективный Wi-Fi;
- сервер – ул. Народная, FTTB-доступ, 100 Мбит/сек.

Результаты пробного тестирования представлены на рис. 4 и 5.

Полученные результаты мониторинга позволяют сделать выводы о качестве используемых маршрутов сегмента сети. Количество наиболее вероятных маршрутов от сервера до клиента можно вычислить, исходя из данных гистограммы

<sup>5</sup> ITU-T Y.1543 Measurements in Internet protocol networks for internet-domain performance assessment: ITU-T SG12. Series Y: Global information infrastructure, Internet protocol aspects, next-generation networks, Internet of Things and smart cities. ITU, 2018.

<sup>6</sup> Топ 10 лучших программ для мониторинга сети в 2020 // Softinventive Lab: сайт. [2006–2020]. URL: <https://www.softinventive.ru/best-network-monitoring-tools> (дата обращения: 17.06.2020).

функции плотности распределения задержки пакетов. Анализируя графики контроля задержки и контроля джиттера, делается вывод о качестве фрагментов сети оператора связи согласно ITU-T Y.1541<sup>7</sup> [14].

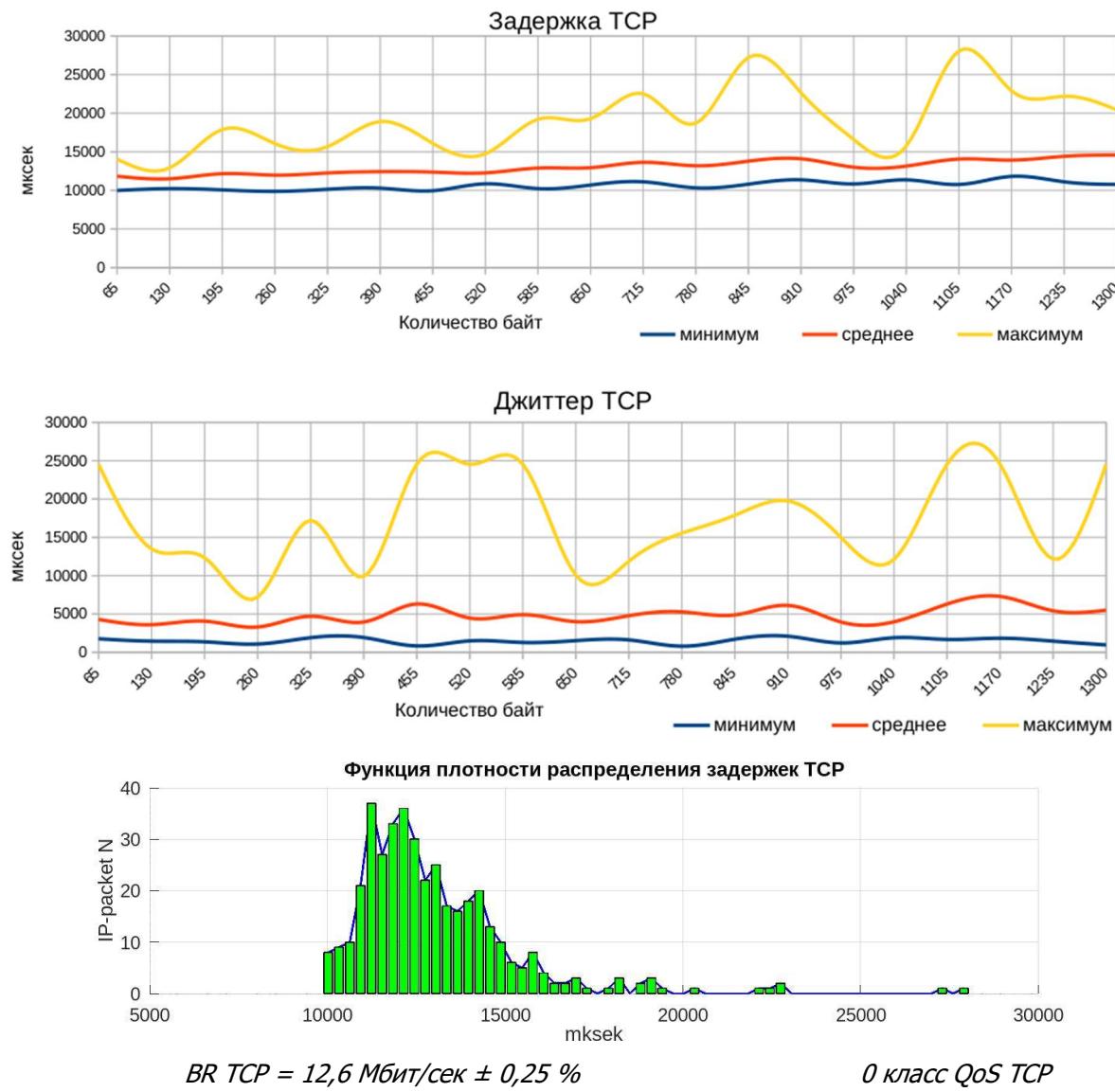
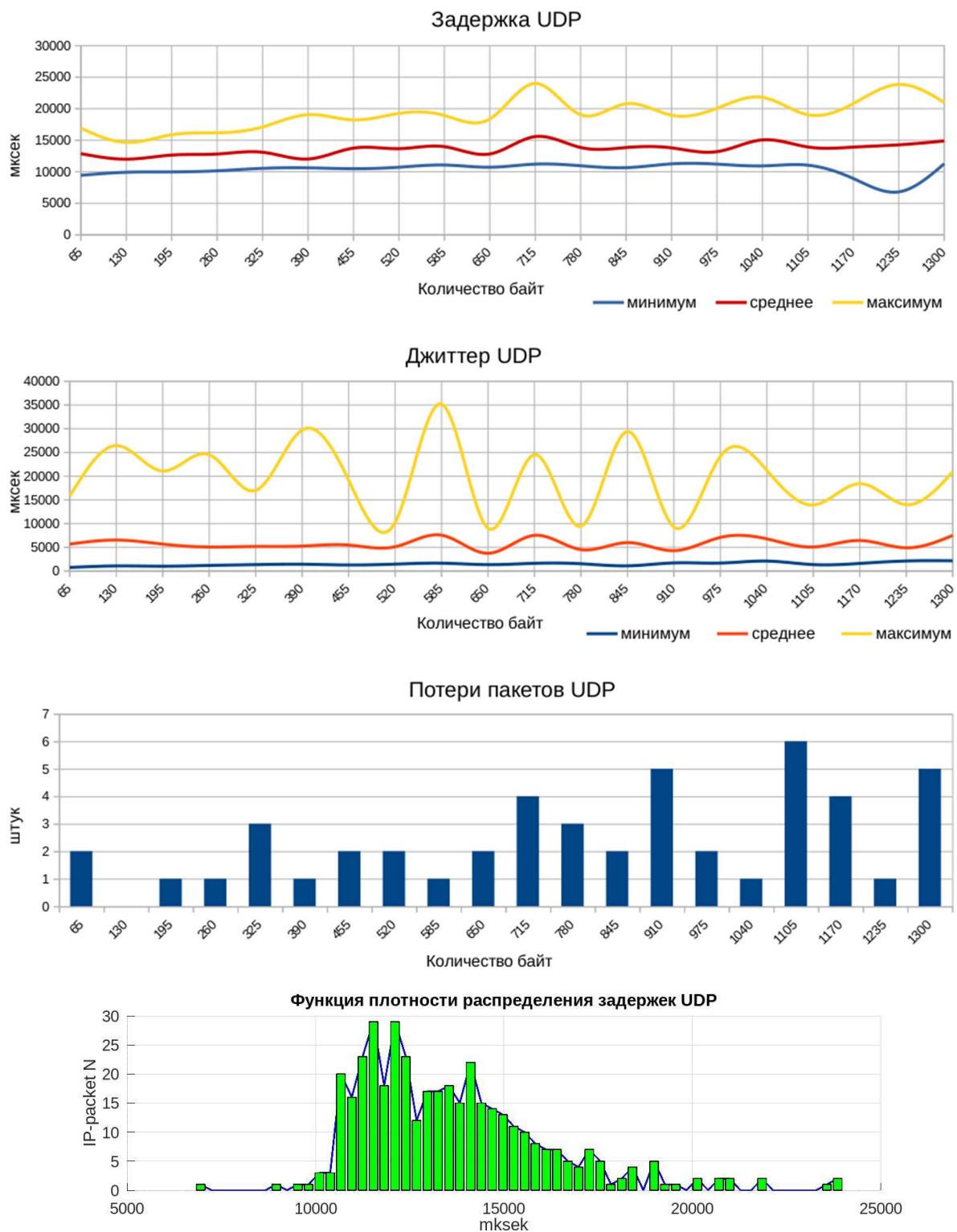


Рис. 4. Результаты тестирования сегмента сети по протоколу TCP

<sup>7</sup> ITU-T Y.1541 Network performance objectives for IP-based services: ITU-T SG12. Series Y: Global information infrastructure, Internet protocol aspects, next-generation networks, Internet of Things and smart cities. ITU, 2011.



BR UDP = 5,4 Мбит/сек ± 0,1 %

0 класс QoS UDP

Рис. 5. Результаты тестирования сегмента сети по протоколу UDP

Данная модель может использоваться оператором связи для формирования функций текущего суточного, еженедельного, ежемесячного, ежеквартального, ежегодного контроля показателей качества и эффективности работы своей сети в соответствии с показателями SLA, определенными для контроля внутренними приказами предприятия связи и классами качества ITU-T Y.1541. Приведенная

модель может применяться для контроля качества пограничных и междоменных фрагментов сетей операторов в соответствии с ITU-T Y.1543, так как имеет матрицы параметров сегментов сети в соответствии с ITU-T Y.1541<sup>8, 9, 10</sup>.

### **Литература**

1. Volkov A., Ateya A. A., Muthanna A., Koucheryavy A. Novel AI-based scheme for traffic detection and recognition in 5G based networks // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. 2019. pp. 243–255.
2. Josephsen D. Building a monitoring infrastructure with Nagios. Prentice hall, 2007. 255 p.
3. Ren J., Li T. Network Management // Handbook of Technology Management. 2009.
4. Галлямов Д. А., Кисель В. С., Киричек Р. В., Бородин А. С., Кучерявый А. Е. Подходы к компенсации сетевой задержки для приложений в сетях связи 2030 // Информационные технологии и телекоммуникации. 2019. Том 7. № 2. С. 1–11. DOI 10.31854/2307-1303-2019-7-2-1-11.
5. Ni X., Goodwine B. Damage modeling and detection for a tree network using fractional-order calculus // Nonlinear Dynamics. 2020. DOI: 10.1007/s11071-020-05847-5.
6. Kocjan W., Beltowski P. Learning Nagios. Packt publishing, 2016. 414 p.
7. Jiang Y., Tham C.-K., Ko C.-C. A QoS distribution monitoring scheme for performance management of multimedia networks // Proceedings of IEEE GLOBECOM'99. 1999. pp. 64–68.
8. Буренин А. Н. Стохастическая оптимизация процессов управления современными информационно-коммуникационными сетями // Информация и космос. 2019. № 4. С. 27–32.
9. Динь Ч. З., Киричек Р. В., Кучерявый А. Е., Маколкина М. А. Экспериментальное исследование передачи мультимедиа контента для приложений дополненной реальности на базе беспроводной сенсорной сети // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 2. С. 76–87. DOI: 10.31854/1813-324X-2019-5-2-76-87.
10. Tham C.-K., Jiang Y., Ko C.-C. Monitoring QoS distribution in multimedia networks // International Journal of Network Management. 2000. Vol. 10(2). pp. 75–90.
11. Aida M., Miyoshi N., Ishibashi K. A Scalable and Lightweight QoS Monitoring Technique Combining Passive and Active Approaches // IEEE INFOCOM 2003. Twenty-second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. 2003. pp. 125–133.
12. Владимиров С. А., Алексеев И. С., Воронов А. С., Реализация методики оценки операторских сетей на соответствие рекомендациям ITU-T Y.1540, Y.1541 // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Том 6. № 3. С. 52–64.
13. Cicotti G., Coppolino L., D'Antonio S., Romano L. Runtime Model Checking for SLA Compliance Monitoring and QoS Prediction // Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications. 2015. Vol. 6. Num. 2. pp. 4–20.
14. Jurca R., Faltings B., Binder W. Reliable QoS Monitoring Based on Client Feedback // WWW '07: Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web. 2007. pp. 1003–1011.

### **References**

1. Volkov, A., Ateya, A. A., Muthanna, A., Koucheryavy, A. Novel AI-based scheme for traffic detection and recognition in 5G based networks // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. 2019. pp. 243–255.
2. Josephsen, D. Building a monitoring infrastructure with Nagios. Prentice hall, 2007. 255 p.
3. Ren, J., Li, T. Network Management // Handbook of Technology Management. 2009.

---

<sup>8</sup> ITU-T Y.1541 Network performance objectives for IP-based services: ITU-T SG12. Series Y: Global information infrastructure, Internet protocol aspects, next-generation networks, Internet of Things and smart cities. ITU, 2011.

<sup>9</sup> ITU-T Y.1543 Measurements in Internet protocol networks for internet-domain performance assessment: ITU-T SG12. Series Y: Global information infrastructure, Internet protocol aspects, next-generation networks, Internet of Things and smart cities. ITU, 2018.

<sup>10</sup> Топ 10 лучших программ для мониторинга сети в 2020 [Электронный ресурс] // Softinventive Lab: сайт. [2006–2020] URL: <https://www.softinventive.ru/best-network-monitoring-tools> (дата обращения: 17.06.2020).

4. Gallyamov D., Kisel V., Kirichek R., Borodin A., Koucheryavy A.: Network latency compensation approaches for applications in 2030 communications networks // Telecom IT. 2019. Vol. 7. Iss. 2. pp. 1–11 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2019-7-2-1-11.
5. Ni, X., Goodwine, B. Damage modeling and detection for a tree network using fractional-order calculus // Nonlinear Dynamics. 2020. DOI: 10.1007/s11071-020-05847-5.
6. Kocjan, W., Beltowski, P. Learning Nagios. Packt publishing, 2016. 414 p.
7. Jiang, Y., Tham, C.-K., Ko, C.-C. A QoS distribution monitoring scheme for performance management of multimedia networks // Proceedings of IEEE GLOBECOM'99. 1999. pp. 64–68.
8. Burenin A. N. Stochastic optimization of modern infocommunication networks management processes // Information and Space. 2019. Iss. 4. pp. 27–32 (in Russian).
9. Dinh T. D., Kirichek R., Koucheryavy A., Makolkina M. Experimental Investigation of the Transmission of Multimedia Content for Augmented Reality Applications on the Basis of a Wireless Sensor Network // Proceedings of Telecommunication Universities. 2019;5(2):76–87. (in Russ.) Available from: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2019-5-2-76-87>
10. Tham, C.-K., Jiang, Y., Ko, C.-C. Monitoring QoS distribution in multimedia networks // International Journal of Network Management. 2000. Vol. 10(2). pp. 75–90.
11. Aida, M., Miyoshi, N., Ishibashi, K. A Scalable and Lightweight QoS Monitoring Technique Combining Passive and Active Approaches // IEEE INFOCOM 2003. Twenty-second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. 2003. pp. 125–133.
12. Vladimirov, S., Alekseev I., Voronov A.: Implementation of Operator Networks Evaluation Methodology for Compliance with ITU-T Recommendations Y.1540, Y.1541 // Telecom IT. 2018. Vol. 6. Iss. 3. pp. 52–64 (in Russian).
13. Cicotti G., Coppolino L., D'Antonio S., Romano L. Runtime Model Checking for SLA Compliance Monitoring and QoS Prediction // Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications. 2015. Vol. 6. Num. 2. pp. 4–20.
14. Jurca R., Faltings B., Binder W. Reliable QoS Monitoring Based on Client Feedback // WWW '07: Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web. 2007. pp. 1003–1011.

**Владимиров Сергей Александрович** – старший преподаватель кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [vlsa.vlcom@yandex.ru](mailto:vlsa.vlcom@yandex.ru)  
**Vladimirov Sergei** – Senior Lecturer, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, [vlsa.vlcom@yandex.ru](mailto:vlsa.vlcom@yandex.ru)

**Кабытова Дарья Сергеевна** – бакалавр, Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича  
**Kabytova Darya** – student, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications