

## МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОЦЕНОЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЭКСПЕРТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЦИФРОВЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Д. М. Ненадович, И. В. Маркин

ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА», [ilya.markin.92@bk.ru](mailto:ilya.markin.92@bk.ru);  
г. Анапа, Краснодарский край, Россия

**Ключевые слова:** показатель качества; производительность; телекоммуникация; цифровые сети; экспертная система.

**Аннотация:** Одна из главных целей модернизации телекоммуникационных сетей – повышение ее производительности. Для количественной оценки успешности улучшения системы выполнена разработка методик для оценки экспертных показателей качества производительности проектируемой цифровой телекоммуникационной системы, синтезированной на основе разработанных ранее алгоритмов декомпозиции и редукции. Рассмотрены основные экспертные показатели качества производительности проектируемой системы, представлены зависимости для расчета данных показателей.

---

Основной целью проводимой в настоящее время модернизации единой сети электросвязи (ЕСЭ) нашей страны является повышение ее производительности [1]. В этих условиях, перед заказчиками подсистем остро стоит задача экспертизы качества множества технических решений, предлагаемых различными разработчиками на всех этапах строительства подсистем ЕСЭ, с целью контроля показателей производительности сети в целом, что обуславливает необходимость автоматизации процесса формирования экспертных оценок (ЭО) производительности на основе разработки и реализации телекоммуникационных экспертных систем (ТКЭС). Одним из первых этапов разработки подобных систем с искусственным интеллектом является разработка оптимальных (безызбыточных) экспертных систем показателей качества (ЭСПК) и формирование системы критериев их оценивания.

В настоящей статье представлены результаты разработки ЭСПК производительности проектируемой телекоммуникационной системы (ТКС) сетевого уровня эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМВОС), синтезированных на основе разработанных ранее алгоритмов декомпозиции и редукции [2]. Разработанные ЭСПК составляют предмет экспертной оценки в ходе проектирования перспективных мультисервисных гетерогенных телекоммуникационных систем. Кроме того, сформированная система критериев оценки экспертных показателей качества ТКС позволяет формировать численные значения вероятностей достижения экспертных показателей качества (ЭПК) требуемых величин, которые должны быть реализованы в ТКЭС. Следует отметить, что основные отличия экспертных показателей качества (ПК) от показателей, используемых разработчиками для оценки результатов проектирования, должны состоять в менее детализированном, но, в то же время, более всестороннем (комплексном) охвате существенных свойств ТКС, чувствительных к реализации основополагающих техниче-

ских решений. Кроме того, значительно отличаются методы оценки ПК – если разработчик на определенных этапах проектирования может оценить значения того или иного ПК на макете, стенде, опытном участке сети и т.д., то эксперту в большинстве случаев приходится работать с моделями, позволяющими учесть существенные свойства, как отдельных подсистем, так и ТКС в целом при условии формирования ЭПК, адекватных существенным свойствам проектируемой ТКС.

Экспертиза проектов перспективных высокотехнологичных ТКС невозможна вне рамок системного подхода. Требование системности процесса экспертизы проектов ТКС определяет не только методологию формирования ЭО качества проектного технического решения (ПТР) по построению ТКС, но и подходы к выбору методов формализованного описания существенных свойств сетей данного класса. Результаты анализа ряда работ [2, 3], посвященных математическому описанию современных информационных систем, показывают, что добиться полной формализации свойств, в общем случае, гетерогенных, мультисервисных, пространственно распределенных систем не представляется возможным. Поэтому, одной из главных задач экспертной деятельности в ходе проектирования ТКС является анализ наиболее существенных свойств системы, основанный на их формализованном либо частично формализованном описании.

Основными свойствами ТКС, определяющими качество функционирования сети в целом и представляемыми на сетевом уровне ЭМВОС, являются: производительность, устойчивость, достоверность информационного обмена, управляемость/наблюдаемость, масштабируемость (способность к расширению); мульти-сервисность (способность к предоставлению услуг по переносу разнородного трафика сети); безопасность процесса информационного обмена; экономичность эксплуатации [2 – 5]. Рассмотрим вопросы оценки производительности телекоммуникационной системы на сетевом уровне ЭМВОС.

Экспертный показатель качества производительности проектируемой ТКС  $\vec{Y}_{\text{произв}}$  является основным в данной локальной ЭСПК и характеризует количество информации пользователей мультисервисной сети, содержащейся во всех коммутируемых информационных единицах (КИЕд) – сообщения, пакеты и другие, обслуженных данной сетью полностью и с заданным качеством за единичный интервал времени (шаг) ее функционирования. Это интегральное свойство современных сетей, характеризующее их пропускную способность, время реакции сети и время задержки передачи сообщений (вариация задержки).

Вектор экспертного показателя производительности системы  $\vec{Y}_{\text{произв}}$  должен включать следующие векторы: ЭПК пропускной способности  $\vec{Y}_{\text{пр.сп}}$ ; коэффициента использования ресурса пропускной способности  $\vec{Y}_{\text{ис}}$ ; ЭПК времени реакции сети  $\vec{Y}_{\text{вр.реак}}$  и ПК задержки передачи и вариации задержки передачи  $\vec{Y}_{\text{зад.пер}}$ :

1. Экспертный показатель качества пропускной способности ТКС  $\vec{Y}_{\text{пр.сп}}(k)$ , в общем случае, отражает объем данных, передаваемых ТКС или ее частью в единицу времени, и характеризует возможности сети создавать такое количество стандартных (для данной телекоммуникационной технологии) каналов информационного обмена либо такую скорость передачи, которые соответствует задачам ТКС в конкретный момент времени. Рассмотрим пропускную способность ТКС с точки зрения количества стандартных (для данной технологии) каналов информационного обмена. В этом случае

$$\vec{Y}_{\text{пр.сп}}(k) = \vec{Y}_{N_{\text{кно}}} (k) = \left( N_{\text{тех}}^{\text{кно}}(k); N_{\text{реал}}^{\text{кно}}(k); N_{\text{пот}}^{\text{кно}}(k) \right)^T, \quad (1)$$

где  $N_{\text{тех}}^{\text{кио}}(k)$  – количество стандартных (для данной технологии) каналов информационного обмена, образованных ТКС в момент времени  $k$  и характеризующих техническую пропускную способность сети – способность ТКС образовать ресурс каналов без учета мешающих воздействий (среда, технические отказы, злоумышленные воздействия и т.д.);  $N_{\text{реал}}^{\text{кио}}(k)$  – количество каналов информационного обмена, образованных ТКС в момент времени  $k$  и характеризующих реальную пропускную способность сети – способность ТКС образовать каналный ресурс в конкретных условиях обстановки, когда различного рода воздействия уменьшают исходную техническую пропускную способность;  $N_{\text{пот}}^{\text{кио}}(k)$  – количество стандартных (64 кбит/сек, 2 048 кбит/сек и т.д. в соответствии с PDH, SDH иерархиями) каналов информационного обмена с учетом дополнительного резерва, спланированного в интересах оперативного управления системой, для восстановления части утраченного ресурса и характеризующих потенциальную пропускную способность сети.

Экспертный показатель качества  $N_{\text{реал}}^{\text{кио}}(k)$  может быть связан с  $N_{\text{тех}}^{\text{кио}}(k)$  соотношением

$$N_{\text{реал}}^{\text{кио}}(k) = N_{\text{тех}}^{\text{кио}}(k) - \overline{N}_{\text{авар}}^{\text{кио}}(k), \quad (2)$$

где  $\overline{N}_{\text{авар}}^{\text{кио}}(k)$  – усредненное значение количества аварийных каналов ТКС, на  $k$ -м этапе функционирования сети. В свою очередь ПК  $N_{\text{пот}}^{\text{кио}}(k)$  связан с  $N_{\text{тех}}^{\text{кио}}(k)$  соотношением

$$N_{\text{пот}}^{\text{кио}}(k) = N_{\text{тех}}^{\text{кио}}(k) + N_{\text{рез}}^{\text{кио}}(k), \quad (3)$$

где  $N_{\text{рез}}^{\text{кио}}(k)$  – величина канального резерва ТКС, предназначенного для решения задач оперативного управления сетью в экстремальных условиях особого этапа функционирования сети (например, час наибольшей нагрузки (**ЧНН**)).

Таким образом, значения ЭПК реальной пропускной способности ТКС  $N_{\text{реал}}^{\text{кио}}(k)$  должны удовлетворять потребностям СУ в каналах информационного обмена; значения ЭПК потенциальной пропускной способности  $N_{\text{пот}}^{\text{кио}}(k)$  – отражать суммарные затраты ТКС (суммарный каналный ресурс), необходимые для выполнения поставленных задач, а значения ПК технической пропускной способности  $N_{\text{тех}}^{\text{кио}}(k)$  – включать структурную избыточность ТКС, при этом значения составляющих ЭПК находятся в следующих отношениях:

$$N_{\text{пот}}^{\text{кио}}(k) \geq N_{\text{тех}}^{\text{кио}}(k) \geq N_{\text{реал}}^{\text{кио}}(k). \quad (4)$$

Рассмотрим аналитические выражения для оценки технической пропускной способности, входящей в состав вектора  $\vec{Y}_{\text{пр.сп}}$ . Техническая пропускная способность ТКС в целом не может превышать совокупную пропускную способность средств информационного обмена нижних уровней ЭМВОС. В этом случае, верхняя граница оценки технической пропускной способности ТКС определяется ресурсами подсистемы множественного доступа (**МД**). Особого внимания в ходе формирования ЭО пропускной способности ТКС требует оценка эффективности предлагающегося к реализации метода радиодоступа.

Рассмотрим ЭПК пропускной способности и накладываемые на них ограничения, при реализации перспективного радиointерфейса UTRA (концепция UMTS) в режиме частотного (FDD) дуплексного разделения каналов. В данном случае техническая пропускная способность радиоподсистемы зависит от способа построения подсистемы МД (способа использования частотно-энергетического ресурса базовых станций). Для случая частотного разделения каналов известен ряд ограничений, аналитически очерчивающих пространство оптимизации, образуемое конечными частотно-энергетическими возможностями базовых станций (БС), и целевая функция вида

$$N_{\text{тех}}^{\text{КИО}}(k) = \sum_{\sigma=1}^{\Omega_{\text{МТ}}(k)} N_{\sigma}^{\text{МТ}}(k) / N_{\sigma}^{\text{КИО}}(k) \rightarrow \max, \text{ при } \vec{\mathfrak{R}}_{\text{огр}} \in \vec{\mathfrak{R}}_{\text{огр}}^{\text{доп}}, \quad (5)$$

характеризующая оптимальную загрузку (использование) ресурсов мобильных терминалов (МТ).

В качестве вектора ограничений  $\vec{\mathfrak{R}}_{\text{огр}}$  выступают:

$$\vec{\mathfrak{R}}_{\text{огр}} = \begin{cases} \sum_{\sigma=1}^{\Omega_{\text{МТ}}(k)} N_{\sigma}^{\text{МТ}}(k) (\Delta f_{\sigma}(k) + \Delta f_{\text{защ}}(k)) \leq \Delta F_{\text{БС}}(k); \\ \sum_{\sigma=1}^{\Omega_{\text{МТ}}(k)} N_{\sigma}^{\text{МТ}}(k) P_{\sigma}^{\text{П}}(k) \leq \bar{P}(k); \\ h_j^{2\text{ТТ}}(k) = \max_{j' \in N_{\Sigma}} h^2_{jj'}(k); \\ N_{\sigma}^{\text{МТ}}(k) \leq N_{\sigma}^{\text{ТП}}(k), \end{cases} \quad (6)$$

где первое выражение вектора (6) характеризует частотные ограничения, а  $\Delta f_{\sigma}(k)$  – полоса частот, необходимая для передачи радиосигнала МТ  $\sigma$ -го типа на  $k$ -м этапе функционирования ТКС;  $\Delta f_{\text{защ}}(k)$  – полоса частот для защитного интервала между двумя соседними радиосигналами;  $\Delta F_{\text{БС}}(k)$  – рабочий частотный ресурс, выделенный БС на  $k$ -м этапе функционирования ТКС.

Второе выражение в составе вектора ограничений (6) характеризует энергетические ограничения, где  $P_{\sigma}^{\text{П}}(k)$  – мощность передатчика БС, излучаемая в интересах МТ  $\sigma$ -го типа на  $k$ -м этапе функционирования ТКС;  $\bar{P}(k)$  – средняя мощность передатчика БС.

Третье выражение в составе вектора ограничений (6) характеризует ограничения по уровню радиосигнала  $j$ -й БС на входе демодулятора приемника  $j'$ -го МТ в  $jj'$ -м направлении мобильной связи, где  $h^2_{jj'}(k)$  – требуемое соотношение сигнал/шум, которое должна обеспечить  $j$ -ая БС для своих корреспондентов на  $k$ -м этапе функционирования ТКС.

Последнее ограничение формирует требование, характеризующее потребности ТКС в количестве МТ различного типа, где  $N_{\sigma}^{\text{ТП}}(k)$  – требуемое число МТ  $\sigma$ -го типа, одновременно работающих в составе ТКС на  $k$ -м этапе ее функционирования.

Кроме того, в качестве ограничений на реализацию в ТКС того или иного метода МД, могут быть использованы показатели эффективности использования ресурса пропускной способности сети. Выражение для расчета значений ЭПК,

характеризующих эффективность использования ресурса пропускной способности сети, может быть представлено следующим образом:

$$R_{\text{эф. исп}}^{\text{РПС}}(k) = \frac{\sum_{i=1}^{I_{\text{марш}}(k)} \sum_{i'=1}^{I'_{\text{ком}}(k)} \left( \Psi_{ii'}(k) - \sum_{\sigma=1}^{\Omega_{\text{ок}}(k)} \left( N_{\sigma ii'}^{\text{раб}}(k) + N_{\sigma ii'}^{\text{рез}}(k) \right) \right)}{\sum_{i=1}^{I_{\text{марш}}(k)} \sum_{i'=1}^{I'_{\text{ком}}(k)} \Psi_{ii'}(k)}, \quad (7)$$

где  $I_{\text{марш}}(k)$  и  $I'_{\text{ком}}(k)$  – количество маршрутизаторов и коммутаторов соответственно, на базе которых выделяется ресурс пропускной способности на  $k$ -м этапе функционирования ТКС;  $\Omega_{\text{ок}}(k)$  – количество типов оконечных устройств, используемых в ТКС на  $k$ -м этапе функционирования и отличающихся друг от друга количеством организуемых каналов информационного обмена определенного типа (речь, данные, видеоинформация)  $N_{\sigma}^{\text{кио}}(k)$ ,  $\sigma = \overline{1, \Omega_{\text{ок}}(k)}$ ;

$\Psi_{ii'}(k) = \psi_{ii'}^{\text{раб}}(k) + \psi_{ii'}^{\text{рез}}(k)$  – часть пропускной способности  $i$ -го маршрутизатора  $i'$ -го коммутатора, с помощью которого организуются рабочие ( $\psi_{ii'}^{\text{раб}}(k)$ ) и резервные (скрытые) ( $\psi_{ii'}^{\text{рез}}(k)$ ) ресурсы сети (каналы информационного обмена);  $N_{\sigma ii'}^{\text{раб}}(k)$  – число рабочих оконечных устройств  $\sigma$ -го типа, использующих  $i$ -й маршрутизатор и  $i'$ -й коммутатор;  $N_{\sigma ii'}^{\text{рез}}(k)$  – число резервных оконечных устройств  $\sigma$ -го типа, предназначенных для работы через  $i'$ -й коммутатор и  $i$ -й маршрутизатор.

Вторым, и наиболее популярным подходом к анализу потенциальной пропускной способности проектируемой ТКС, является подход, больше ориентированный на оценивание пропускной способности как внутрисистемной характеристики. Он состоит в оценке объема данных, передаваемых по каналам ТКС или ее сегменту в единицу времени. Данный подход позволяет оценить скорость выполнения внутренних операций системы – передачи ИС между элементами ТКС через различные коммуникационные устройства. В этом случае пропускная способность непосредственно характеризует качество выполнения основной функции ТКС – транспортировки ИС, обозначается как  $V(k)$  и измеряется в бит/с.

Пропускная способность ТКС, с точки зрения объема данных, передаваемых в единицу времени (скорости передачи), имеет два аспекта. С одной стороны, она может быть мгновенной, максимальной или средней (общей пропускной способности ТКС), с другой (как в рассмотренном ранее случае) – различают техническую, потенциальную и реальную пропускную способность.

Средняя пропускная способность вычисляется путем деления общего объема переданных данных  $Q_{\text{пер. д}}(k)$  на время их передачи  $T_{\text{пер}}(k)$  (в качестве  $T_{\text{пер}}(k)$  выбирается достаточно длительный промежуток времени – час, сутки).

$$V_{\text{сред}}(k) = \frac{Q_{\text{пер. д}}(k)}{T_{\text{пер}}(k)}. \quad (8)$$

Мгновенная пропускная способность отличается от средней тем, что для усреднения выбирается достаточно малый промежуток времени, определяемый прогнозируемыми особенностями трафика проектируемой ТКС.

Максимальная пропускная способность – наибольшая мгновенная пропускная способность, зафиксированная в течение какого-либо периода наблюдения:

$$V_{\text{max}}(k) = \max V_{\text{мгнов}}(k). \quad (9)$$

На практике, при проектировании и ЭО перспективных телекоммуникационных систем, чаще всего используются такие показатели, как средняя  $V_{\text{сред}}(k)$  и максимальная  $V_{\text{max}}(k)$  пропускные способности. Средняя пропускная способность ТКС  $V_{\text{сред}}(k)$  позволяет оценить работу сети на большом отрезке времени, когда в силу закона больших чисел пики и спады интенсивности трафика компенсируют друг друга. Максимальная пропускная способность  $V_{\text{max}}(k)$  позволяет оценить возможности ТКС справляться с пиковыми нагрузками, характерными для особых периодов работы системы.

Необходимо отметить, что из-за последовательного характера передачи пакетов (сообщений) различными элементами ТКС общая пропускная способность ТКС (любого составного пути в ТКС) во многом будет определяться элементами системы, имеющими минимальные пропускные способности по маршруту передачи ИС. Данный факт следует учитывать в ходе экспертного моделирования и формирования ЭО об оптимальности топологии ТКС.

Общая пропускная способность мультисервисной гетерогенной ТКС может быть определена как среднее количество информации, переданной между всеми узлами сети в единицу времени. В этом случае вектор показателей пропускной способности с точки зрения объема данных, передаваемых ТКС в единицу времени, содержит следующие ЭПК:

$$\vec{Y}_{\text{пр.сп}}(k) = \vec{Y}_V(k) = (V_{\text{тех}}(k); V_{\text{реал}}(k); V_{\text{пот}}(k), R_{\text{эф.исп}}^{\text{РПС}}(k))^T, \quad (10)$$

где  $V_{\text{тех}}(k)$  – количество информации, которую ТКС может передать в единицу времени  $k$ , характеризующее техническую пропускную способность сети – способность ТКС образовать ресурс скорости передачи информации без учета мешающих воздействий;  $V_{\text{реал}}(k)$  – количество информации, которую ТКС может передать в единицу времени  $k$ , характеризующее реальную пропускную способность сети – способность ТКС образовать ресурс скорости передачи информации в конкретных условиях обстановки, в условиях различного рода воздействий, уменьшающих исходную техническую пропускную способность (технические отказы, ухудшение ЭМО и другие);  $V_{\text{пот}}(k)$  – количество информации, которую ТКС может передать в единицу времени  $k$  с учетом дополнительного резерва пропускной способности, спланированного в интересах оперативного управления для восстановления части утраченного ресурса, и характеризующее потенциальную пропускную способность сети,  $R_{\text{эф.исп}}^{\text{РПС}}(k)$  – коэффициент использования ресурса пропускной способности ТКС.

Сформулируем критерий оценки пропускной способности ТКС на основе  $V(k)$ . Им может служить соотношение  $\vec{Y}_{\text{пр.сп}}(k) \geq \vec{Y}_{\text{пр.сп}}^{\text{ТР}}(k)$ , где  $\vec{Y}_{\text{пр.сп}}(k)$ ,  $\vec{Y}_{\text{пр.сп}}^{\text{ТР}}(k)$  – векторный показатель пропускной способности ТКС на  $k$ -м шаге функционирования сети и его требуемое значение соответственно. С точки зрения формирования ЭО, наиболее целесообразным выглядит задание критерия оценивания пропускной способности перспективной ТКС в вероятностно-временной форме, то есть как вероятность выполнения требований к пропускной способности ТКС на  $k$ -м шаге функционирования сети:

$$P_{\text{пр.сп}}^{\text{ТКС}}(k) = P\left(\vec{Y}_{\text{пр.сп}}(k) \geq \vec{Y}_{\text{пр.сп}}^{\text{ТР}}(k)\right). \quad (11)$$

Вероятность выполнения требований к пропускной способности ТКС должна быть больше или равна требуемой  $P_{\text{пр.сп}}^{\text{ТКС}}(k) \geq P_{\text{пр.сп}}^{\text{ТКС тр}}(k)$ , где  $P_{\text{пр.сп}}^{\text{ТКС тр}}(k)$  – требуемая вероятность выполнения требований к пропускной способности ТКС. Отдельно следует остановиться на формировании требований к эффективности использования ресурса пропускной способности сети. При формировании численных требований необходимо ориентироваться на требования к реальной пропускной способности сети, которые в свою очередь должны учитывать коммерческую привлекательность проекта.

Экспертный показатель качества времени реакции системы  $\bar{Y}_{\text{вр. реак}}$  отражает ее интегральное внутреннее свойство, влияющее на производительность мульти-сервисной системы с точки зрения пользователя. В общем случае время реакции ТКС определяется как интервал времени между появлением на входе ТКС запроса пользователя к какой-либо сетевой службе (запрос  $n$ -й услуги ТКС по переносу различного вида информации или доступу к сетям контент-провайдеров) и получением на выходе сети ответа на данный запрос –  $t_{\text{вр. реак}}^n(k)$ . Очевидно, что  $t_{\text{вр. реак}}^n(k)$  зависит от типа запрашиваемой  $n$ -й услуги, от того, какой пользователь ТКС и к какому серверу услуг обращается, от местонахождения пользователя, а также текущего состояния элементов ТКС – загруженности сегментов, коммутаторов и маршрутизаторов базовой сети, через которые проходит запрос загруженности сервера услуг и т.п.

Поэтому имеет смысл использовать также и средневзвешенную оценку времени реакции ТКС  $\bar{t}_{\text{вр. реак}}(k)$ , усредняя данный показатель по категории пользователей, типам услуг, количеству серверов и с учетом времени осуществления запроса (от которого в значительной степени зависит загрузка сети – например, запрос в ночное время либо запрос в ЧНН).

Таким образом, вектор параметров времени реакции сети может содержать элементы (параметры)

$$\bar{Y}_{\text{вр. реак}}(k) = \left( t_{\text{вр. реак}}^n(k); \bar{t}_{\text{вр. реак}}(k) \right)^T, \quad (12)$$

где  $t_{\text{вр. реак}}^n(k)$  – интервал времени между появлением на входе ТКС запроса пользователя к какой-либо сетевой службе (запрос  $n$ -й услуги) и получением на выходе системы ответа на этот запрос на  $k$ -м шаге функционирования системы;  $\bar{t}_{\text{вр. реак}}(k)$  – средневзвешенную оценку времени реакции ТКС на  $k$ -м шаге ее функционирования.

При этом

$$t_{\text{вр. реак}}^n(k) = t_{\text{подг. запр}}^n(k) + t_{\text{пер. запр}}^n(k) + t_{\text{обр. запр}}^n(k) + \\ + t_{\text{пер. отв. с}}^n(k) + t_{\text{обр. отв}}^n(k) + t_{\text{пер. отв}}^n(k), \quad (13)$$

где  $t_{\text{подг. запр}}^n(k)$  – время подготовки запроса  $n$ -й услуги на конечном устройстве ТКС;  $t_{\text{пер. запр}}^n(k)$  – время передачи запроса  $n$ -й услуги между конечным устройством (ОУ) и сервером услуг ТКС через сегменты сети (радиоинтерфейс, устройства базовой сети);  $t_{\text{обр. запр}}^n(k)$  – время обработки запроса  $n$ -й услуги

на сервере;  $t_{\text{пер. отв. с}}^n(k)$  – время передачи ответной информации от сервера на ОУ;  $t_{\text{обр. отв}}^n(k)$  – время обработки ответной информации на запрос  $n$ -й услуги на ОУ;  $t_{\text{пер. отв}}^n(k)$  – время передачи ответной информации (предоставление услуги, отказ в предоставлении услуги).

Средневзвешенное по количеству оконечных устройств ТКС, типам услуг и количеству серверов услуг время реакции системы имеет вид

$$\bar{t}_{\text{вр. реак}}(k) = \frac{\sum_{n_{\text{серв}}=1}^{N_{\text{серв}}(k)} \left( \sum_{n_{\text{абон}}=1}^{N_{\text{ОУ}}(k)} \left( \frac{\sum_{n=1}^{N_{\text{усл}}(k)} t_{\text{вр. реак}}^n(k)}{N_{\text{усл}}(k)} \right) / N_{\text{ОУ}}(k) \right)}{N_{\text{серв}}(k)}, \quad (14)$$

где  $n$  – количество типов услуг, оказываемых ТКС,  $n = \overline{1, N_{\text{усл}}(k)}$ ;  $N_{\text{ОУ}}$  – количество ОУ сети ( $n_{\text{абон}} = \overline{1, N_{\text{абон}}(k)}$ );  $n_{\text{серв}}$  – количество серверов услуг, к которым обращаются абоненты ТКС ( $n_{\text{серв}} = \overline{1, N_{\text{серв}}(k)}$ ) на  $k$ -м шаге функционирования сети, то есть с учетом времени осуществления запроса.

Критерием оптимальности времени реакции ТКС может служить соотношение  $\bar{Y}_{\text{вр. реак}}(k) \leq \bar{Y}_{\text{вр. реак}}^{\text{доп}}(k)$ , где  $\bar{Y}_{\text{вр. реак}}^{\text{доп}}(k)$  – допустимое значение показателя времени реакции ТКС на  $k$ -м шаге функционирования системы, вероятностно-временной критерий оценивания времени реакции системы определяется в виде вероятности выполнения требований к времени реакции ТКС на  $k$ -м шаге функционирования, например:

$$P_{\text{вр. реак}}^{\text{ТКС}}(k) = P\left(\bar{Y}_{\text{вр. реак}}(k) \leq \bar{Y}_{\text{вр. реак}}^{\text{доп}}(k)\right) = P\left(\bar{t}_{\text{вр. реак}}(k) \leq \bar{t}_{\text{вр. реак}}^{\text{доп}}(k)\right). \quad (15)$$

Вероятность выполнения требований к времени реакции ТКС должна быть больше или равна требуемой  $P_{\text{вр. реак}}^{\text{ТКС}}(k) \geq P_{\text{вр. реак}}^{\text{ТКС тр}}(k)$ , где  $P_{\text{вр. реак}}^{\text{ТКС тр}}(k)$  – требуемая вероятность выполнения требований к времени реакции ТКС.

Анализируя физический смысл составляющих времени реакции, необходимо отметить, что характеризуя производительность ТКС с точки зрения пользователя, время реакции также отражает и внутренние свойства системы, поскольку характеризуют технические и технологические этапы собственно сетевой обработки информации (пакетов, сообщений) – их передачу от ОУ к серверам услуг ТКС через сегменты системы и коммутационное оборудование ТКС.

Знание сетевых составляющих времени реакции дает возможность формировать ЭО потенциальной производительности отдельных элементов и проектируемой ТКС в целом, выявить узкие места и (в случае необходимости) сформировать рекомендации по модернизации предлагаемых разработчиками проектных решений по построению ТКС.

Экспертный показатель качества задержки передачи и вариации задержки передачи  $\bar{Y}_{\text{зад. пер}}$  описывает внутреннее свойство проектируемой ТКС, близкое по смыслу ко времени реакции сети, но отличающееся тем, что всегда характери-



зует сетевые этапы обработки информации, без учета задержек обработки информации. Данное свойство определяется как задержка между моментом поступления пакета (сообщения) на вход системы и моментом появления его на выходе. Обычно качество сети характеризуют величинами максимальной задержки передачи  $t_{\max \text{ зад. пер}}(k)$  и вариацией задержки  $\Delta t_{\text{зад. пер}}(k)$ .

Следует отметить, что не все типы трафика в мультисервисной ТКС чувствительны к задержкам передачи. Задержки передачи информации, не превышающие сотен миллисекунд или нескольких секунд, порождаемые файловой службой или службой электронной почты, мало влияют на качество данных служб, с точки зрения пользователя ТКС. С другой стороны, такие же задержки для речевой информации или видеоизображения существенны – снижается разборчивость речи, появляется дрожание изображения и т.п.

Телекоммуникационная система может обладать высокой пропускной способностью, но иметь значительные задержки передачи, то есть пропускная способность ТКС и задержки передачи могут выступать как независимые параметры, что особенно заметно на примере рассмотрения характеристик каналов информационного обмена, образованных на основе геостационарных спутников. Пропускная способность таких каналов может достигать 2 Мбит/с, в то время как задержка передачи всегда составляет не менее 0,24 с, что определяется большой протяженностью радиотракта (до 76 000 км).

Таким образом, вектор ЭПК задержки передачи  $\vec{Y}_{\text{зад. пер}}$  содержит два частных показателя:

$$\vec{Y}_{\text{зад. пер}}(k) = (t_{\max \text{ зад. пер}}(k); \Delta t_{\text{зад. пер}}(k))^T, \quad (16)$$

где  $\Delta t_{\text{зад. пер}}(k)$  – вариация задержки передачи на  $k$ -м шаге функционирования ТКС, а  $t_{\max \text{ зад. пер}}(k)$  – максимальный интервал времени между моментом поступления КИЕд (пакета, сообщения) на вход системы  $t_{\text{вх}}(k)$  и моментом появления его на выходе  $t_{\text{вых}}(k)$  на  $k$ -м шаге функционирования системы

$$t_{\max \text{ зад. пер}}(k) = t_{\text{вых}}(k) - t_{\text{вх}}(k). \quad (17)$$

Критерием оптимальности времени задержки передачи в ТКС может служить соотношение  $\vec{Y}_{\text{зад. пер}}(k) \leq \vec{Y}_{\text{зад. пер}}^{\text{доп}}(k)$ , где  $\vec{Y}_{\text{зад. пер}}^{\text{доп}}(k)$  – допустимое значение показателя времени задержки передачи в ТКС на  $k$ -м шаге функционирования, а вероятностно-временной критерий оценивания времени задержки передачи определяется в виде совместной условной вероятности выполнения требований к времени задержки передачи и вариациям задержки передачи в ТКС на  $k$ -м шаге функционирования, например:

$$\begin{aligned} P_{\text{зад. пер}}^{\text{ТКС}}(k) &= P\left(\vec{Y}_{\text{зад. пер}}(k) \leq \vec{Y}_{\text{зад. пер}}^{\text{доп}}(k)\right) = \\ &= P_{\text{вр. зад. пер}}^{\text{ТКС}}\left[\left(t_{\max \text{ зад. пер}}(k) \leq t_{\max \text{ зад. пер}}^{\text{доп}}(k)\right) / \left(\Delta t_{\text{зад. пер}}(k) \leq \Delta t_{\text{зад. пер}}^{\text{доп}}(k)\right)\right] \times \\ &\quad \times P_{\text{вар. зад}}^{\text{ТКС}}\left(\Delta t_{\text{зад. пер}}(k) \leq \Delta t_{\text{зад. пер}}^{\text{доп}}(k)\right). \end{aligned} \quad (18)$$

Вероятность выполнения требований к задержке передачи в ТКС должна быть больше или равна требуемой  $P_{\text{зад.пер}}^{\text{ТКС}}(k) \geq P_{\text{зад.пер}}^{\text{ТКС тр}}(k)$ , где  $P_{\text{зад.пер}}^{\text{ТКС тр}}(k)$  – требуемая вероятность выполнения требований к допустимой задержке передачи на  $k$ -м шаге функционирования ТКС.

Таким образом, подводя итоги процесса формулировки ЭПК производительности ТКС, отметим, что  $\vec{Y}_{\text{произв}}(k)$  содержит три относительно (косвенной взаимосвязью между показателями пропускной способности и временем реакции сети в большинстве случаев можно пренебречь) независимые составляющие

$$\vec{Y}_{\text{произв}}(k) = \left( \vec{Y}_{\text{пр. сп}}(k); \vec{Y}_{\text{вр. реак}}(k); \vec{Y}_{\text{зад. пер}}(k) \right)^T, \quad (19)$$

а обобщенный вероятностный критерий оценивания производительности представляет собой совместную вероятность выполнения требований по пропускной способности, времени реакции и задержке передачи в ТКС

$$P_{\text{произв}}^{\text{ТКС}}(k) = P_{\text{пр. сп}}^{\text{ТКС}} \left( \vec{Y}_{\text{пр. сп}}(k) \geq \vec{Y}_{\text{пр. сп}}^{\text{тр}}(k) \right) P_{\text{вр. реак}}^{\text{ТКС}} \left( \vec{Y}_{\text{вр. реак}}(k) \leq \vec{Y}_{\text{вр. реак}}^{\text{доп}}(k) \right) \times \\ \times P_{\text{зад. пер}}^{\text{ТКС}} \left( \vec{Y}_{\text{зад. пер}}(k) \leq \vec{Y}_{\text{зад. пер}}^{\text{доп}}(k) \right). \quad (20)$$

Показатели, составляющие основу вектора показателей производительности, в целом характеризуют свойство своевременности информационного обмена в проектируемой ТКС.

*Вывод:* представленная система экспертных ПК и критериев оценки производительности перспективной ТКС, наиболее выпукло проявляющихся на уровне соответствующем сетевому уровню ЭМВОС, может быть использована для исследования как совокупности, так и отдельных существенных свойств проектируемой системы в ходе организации экспертной деятельности. Разработанная ЭСПК удовлетворяет условиям адекватности и чувствительности к особенностям того или иного проектного решения сетевого уровня ЭМВОС и позволяет провести достаточно глубокий для решения экспертных задач анализ качества технических решений, влияющих на производительность ТКС в целом.

#### Список литературы

1. О связи : Федеральный закон РФ от 07.07.2003 г. №126-ФЗ. – Текст : электронный // Гарант. – URL : <https://base.garant.ru/186117/> (дата обращения: 20.09.2021).
2. Ненадович, Д. М. Методологические аспекты экспертизы телекоммуникационных проектов / Д. М. Ненадович. – М. : Горячая линия – Телеком, 2008. – 254 с.
3. Хоменко, Т. В. Обобщенная математическая модель формирования критерия оценивания для решения задачи выбора технических решений / Т. В. Хоменко // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 271 – 277.
4. Советов, Б. Я. Построение сетей интегрального обслуживания / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – Л. : Машиностроение, 1990. – 332 с.
5. Терентьев, В. М. Теоретические основы управления сетями многоканальной радиосвязи / В. М. Терентьев, И. Б. Паращук. – СПб. : ВАС, 1995. – 195 с.

## Methodology for the Formation of Assessment Values of Expert Performance Indicators for Perspective Automated Digital Telecommunication Systems

D. M. Nenadovich, I. V. Markin

*Military Innovative Technopolis "ERA", ilya.markin.92@bk.ru;  
Anapa, Krasnodar Territory, Russia*

**Keywords:** level of quality; productivity; telecommunications; digital networks; expert system.

**Abstract:** One of the main goals of modernization of telecommunication networks is to increase its performance. For a quantitative assessment of the success of improving the system, methods were developed for assessing the expert indicators of the performance quality of the designed digital telecommunication system, synthesized on the basis of previously developed decomposition and reduction algorithms. The main expert indicators of the performance quality of the designed system are considered, the dependences for calculating these indicators are presented.

### References

1. <https://base.garant.ru/186117/> (accessed 20 September 2021).
2. Nenadovich D.M. *Metodologicheskiye aspekty ekspertizy telekommunikatsionnykh proyektov* [Methodological aspects of the examination of telecommunication projects], Moscow: Goryachaya liniya - Telekom, 2008, 272 p. 254 s. (In Russ.)
3. Khomenko T.V. [Generalized mathematical model of the estimation criterion formation for solving the problem of choosing technical solutions], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2013, vol. 19, no. 1, pp. 271-277. (In Russ., abstract in Eng.)
4. Sovetov B.Ya., Yakovlev S.A. *Postroyeniye setey integral'nogo obsluzhivaniya* [Construction of integrated service networks], Leningrad: Mashinostroyeniye, 1990, 332 p. (In Russ.)
5. Terent'yev V.M., Parashchuk I.B. *Teoreticheskiye osnovy upravleniya setyami mnogokanal'noy radiosvyazi* [Theoretical foundations of multichannel radio communication network management], St. Petersburg: VAS, 1995, 195 p. (In Russ.)

---

### Methodik zur Bildung von Schätzwerten der Experten-Leistungsindikatoren für perspektivische automatisierte digitale Telekommunikationssysteme

**Zusammenfassung:** Eines der Hauptziele der Modernisierung der Telekommunikationsnetze ist die Steigerung ihrer Produktivität. Um den Erfolg der Verbesserung des Systems quantitativ zu bewerten, sind Verfahren zur Bewertung von Expertenindikatoren der Leistungsqualität des entworfenen digitalen Telekommunikationssystems durchgeführt, die auf der Grundlage zuvor entwickelter Zerlegungs- und Reduktionsalgorithmen synthetisiert worden sind. Die wichtigsten Expertenindikatoren für die Leistungsqualität des entworfenen Systems sind betrachtet, die Abhängigkeiten für die Berechnung dieser Indikatoren sind dargestellt.

## **Méthode pour la formation des valeurs estimatives des indicateurs experts de la productivité des systèmes de télécommunications numériques automatisés**

**Résumé:** Un des principaux objectifs de la modernisation des réseaux de télécommunications est l'augmentation leur productivité. Pour quantifier le succès de l'amélioration du système, sont élaborée des méthodes pour évaluer les indicateurs de qualité de la productivité du système de télécommunication numérique conçu, synthétisés à la base des algorithmes de la décomposition et de la réduction élaborés précédemment. Sont examinés les principaux indicateurs de la qualité de la performance du système conçu; sont présentées les dépendances pour le calcul de ces indicateurs.

---

**Авторы:** *Ненадович Дмитрий Михайлович* – доктор технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела «исследований перспективных военных технологий»; *Маркин Илья Владимирович* – кандидат технических наук, начальник лаборатории клеточных и молекулярно-генетических технологий научно-исследовательского отдела «медико-биологических исследований», ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА», г. Анапа, Краснодарский край, Россия.

**Рецензент:** *Муромцев Дмитрий Юрьевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», проректор по научно-инновационной деятельности, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.