

DOI <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.10.4>
УДК 004.7

АСПЕКТЫ СОВМЕСТИМОСТИ СЕТЕВЫХ ПРОТОКОЛОВ, ИНТЕРФЕЙСОВ И ТРЕБОВАНИЙ ПО КАЧЕСТВУ ОБСЛУЖИВАНИЯ В РАМКАХ ОЦЕНКИ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

С. И. Макаренко^{1,2}, Т.Е. Черницкая²

¹ Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, 199178, Россия, Санкт-Петербург, 14 линия, 39

² Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 197376, Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5

Статья поступила в редакцию 20 октября 2020 г.

Аннотация. В условиях перехода информационно-управляющих систем к сетевидной архитектуре и созданию сетевидных информационно-управляющих систем (СЦИУС) возрастает актуальность обеспечения интероперабельности в таких системах. В статье предложен подход к оценке аспектов совместимости сетевых протоколов, интерфейсов и требований по качеству обслуживания в рамках разработки модели технической интероперабельности СЦИУС, на основе ГОСТ Р 55062-2012. Показано что данные аспекты технической интероперабельности включают в себя параметры стандартизации и унификации протокольного базиса СЦИУС, используемых интерфейсов, а также требований по качеству обслуживания по частным параметрам: пропускной способности сети; скорости потоков трафика; своевременности передачи; джиттеру; вероятности потерь пакетов. Данное исследование проводится в рамках проекта РФФИ № 19-07-00774 «Исследование проблемы интероперабельности при реализации принципов сетевидных информационно-управляющих систем».

Ключевые слова: интероперабельность, сетевидная система управления, система управления, протокол, интерфейс, сеть, качество

обслуживания.

Abstract. In the situation of transition from information and control systems to a network-centric architecture and development of net-centric information and control system, the relevance of interoperability assurance in such systems is increasing. An approach to interoperability of network protocols and interfaces, quality of service architectures is proposed as a part of developing a model of technical interoperability of network-centric information and control system based on Russia's state standard no. 55062-2012. It is shown that capabilities of technical interoperability for network protocols and interfaces, quality of service architectures include dimensions of network bandwidth, speed of traffic flows, timeliness of transmission, jitter, probability of packet loss. The current study takes place as a part of Russian Foundation for basic research finance project no. 19-07-00774.

Keywords: interoperability, net-centric control system, control system, protocol, interface, network, quality of service.

Введение

В настоящее время развитие информационных систем ведется в направлении их интеграции и глобализации. Особенностью развития систем управления организационными и техническими системами является переход их к сетецентрическому принципу построения.

Сетецентрической принцип построения систем – базовое положение об объединении всех элементов системы в единое информационное пространство (сетецентрическую среду), обеспечение полной интероперабельности элементов и предоставление всем элементам системы возможностей беспрепятственного взаимного обмена информацией независимо от уровней иерархии и выполняемых функций.

Системы управления, построенные в соответствии с сетецентрическим принципом, получили наименование сетецентрических информационно-управляющих систем (СЦИУС).

Первостепенным, можно сказать ключевым, принципом построения СЦИУС служит интероперабельность, как свойство бесшовной информационной интеграции отдельных элементов и подсистем. Согласно общепринятому определению, данному организациями по стандартизации [1, 2]: «интероперабельность – способность двух или более информационных систем или компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена».

Следует отметить, что несмотря на то, что в отечественной литературе достаточно большое число публикаций посвящено обсуждению принципов формирования СЦИУС, в основном в военной области, например работа [3], в то же время работ по проблеме интероперабельности в СЦИУС несравненно меньше. К основным из них стоит отнести работы [4-10], при этом, в данное время, глубокое теоретическое исследование влияния аспектов совместимости сетевых протоколов, интерфейсов и требований по качеству обслуживания в рамках оценки технической интероперабельности СЦИУС в отечественной науке не проводилась.

В работе [8] обоснован общий вариант декомпозиции параметров интероперабельности в соответствии ГОСТ Р 55062-2012 [2] – см. рис. 1. Целью данной работы является исследование частных аспектов, факторов и параметров, относящихся к совместимости протоколов, интерфейсов и требований по качеству обслуживания в сетевой инфраструктуре СЦИУС, что соответствует п. 3.2 в составе технической интероперабельности на рис. 1. Исследование основано на известной модели «Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises Model for Interoperability Assessment» (SCOPE-модели) [11], с учетом ее адаптации к отечественному подходу оценки интероперабельности, представленному в ГОСТ Р 55062-2012 [2]. Это исследование развивает ранее опубликованные работы авторов [4, 5, 8-10] и проводится в рамках выполнения проекта РФФИ № 19-07-00774.

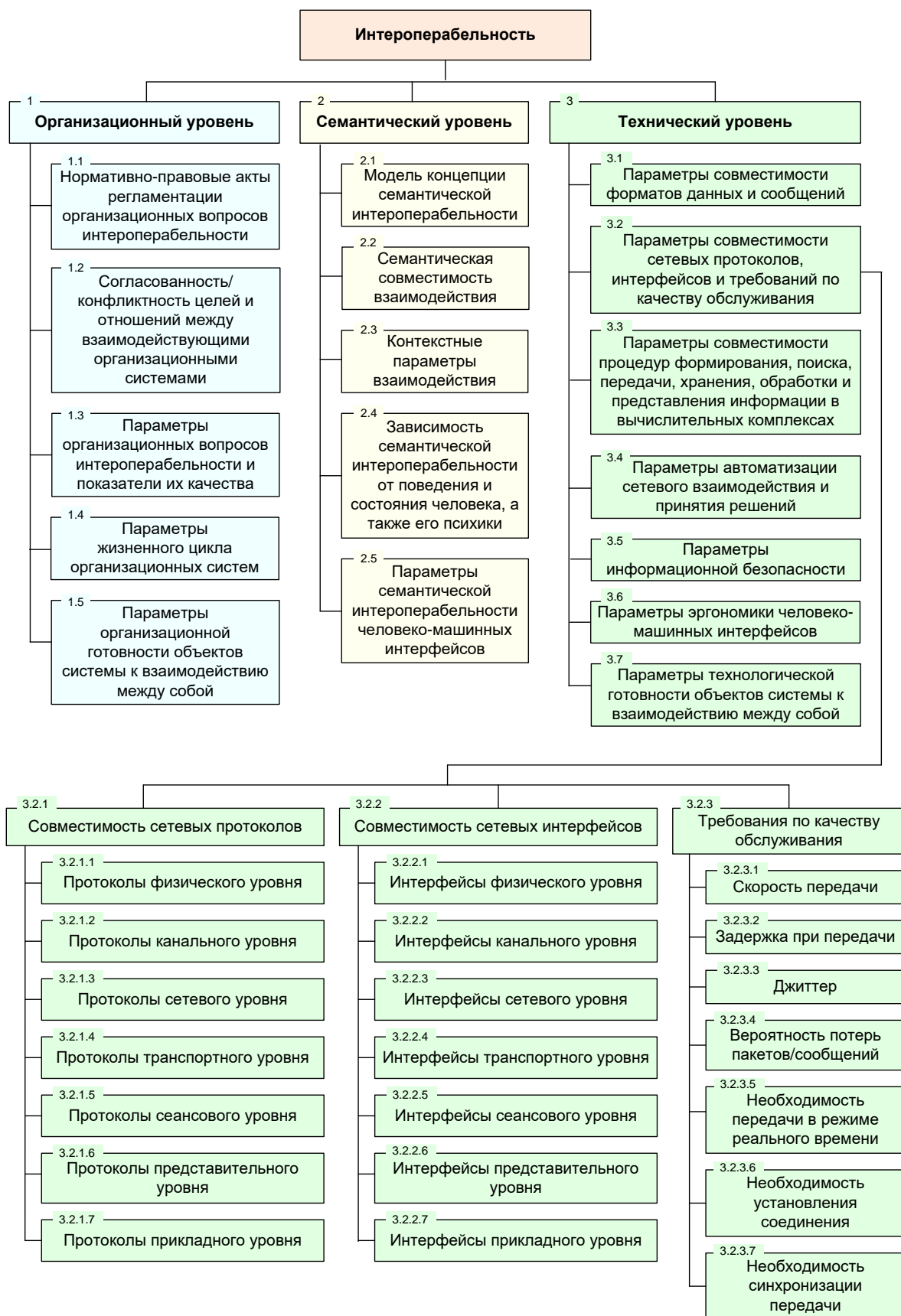


Рис. 1. Место и роль исследуемых аспектов совместимости сетевых протоколов, интерфейсов и требований по качеству обслуживания в составе общей интероперабельности СЦИУС.

1. Совместимость сетевых протоколов

Дадим определение понятию «протокол».

Протокол – формализованный набор правил, задаваемых алгоритмами его функционирования, а также их параметрами, которые позволяют осуществлять соединение и обмен данными между двумя или более функциональными элементами системы связи [12].

Технической основой СЦИУС, ее системой связи, обеспечивающей бесшовный информационный обмен между всеми ее элементами по принципу «каждый с каждым», является телекоммуникационная система СЦИУС.

Телекоммуникационная система (ТКС) – это совокупность связанных линиями связи сетевых узлов, которая основана на единой транспортной технологии и эксплуатируется в соответствии с едиными принципами маршрутизации, адресации и управления, при этом в ее составе имеются граничные узлы, ответственные за допуск трафика в сеть или направление его в другие смежные телекоммуникационные системы [12].

Таким образом, задача обеспечения совместимости сетевых протоколов в ТКС СЦИУС, фактически сводится к задаче формирования единого множества протоколов, обеспечивающего бесшовный информационный обмен в ТКС, а также единые принципы маршрутизации, адресации и управления в ней. Общие принципы формирования такого множества определены моделью Open System Interconnect (OSI) [13]. В соответствии с этой моделью, сетевые протоколы декомпозируются на 7-мь уровней, в зависимости от их функциональности [13]:

1) протоколы физического уровня:

- сигнальные протоколы;
- протоколы использования ресурсов среды передачи каналов связи различной физической природы;
- протоколы каналообразования;

2) протоколы канального уровня:

- протоколы множественного доступа абонентов к среде передачи;
- протоколы разделения/уплотнения каналов;

- протоколы линейного кодирования и перемежения;
- протоколы помехоустойчивого кодирования;
- протоколы адресации внутри отдельной сети;
- протоколы резервирования каналов внутри отдельной сети;

3) протоколы сетевого уровня:

- протоколы межсетевой адресации;
- протоколы установления соединений и управления ими;
- протоколы межсетевой маршрутизации;
- протоколы сегментирования и сборки пакетов в узлах (маршрутизаторах) сети;
- протоколы обеспечения надежности и резервирования межсетевых и транзитных соединений;

4) протоколы транспортного уровня:

- протоколы обеспечения требуемого качества обслуживания «из конца в конец» для различных типов трафика пользователей (данные реального времени, данные не реального времени, голос, видео и др.) по различным классам услуг;
- протоколы балансировки пользовательской нагрузки;
- протоколы доступа трафика пользователей в сеть;
- протоколы административного управления сетью;

5) протоколы сеансового уровня:

- протоколы очередности и приоритетности связи для объектов сети;
- протоколы дуплексной, полудуплексной и симплексной связи;
- протоколы синхронизации;
- протоколы административного управления активностью, очередностью и приоритетностью объектов в сети;

б) протоколы представительного уровня:

- протоколы и кодеки представления и инкапсуляции различных типов информации в стандартные форматы передаваемых данных;

7) протоколы прикладного уровня:

- протоколы и программы, предоставляющие пользователям и аппаратно-программному обеспечению объектов сети доступ к сетевым функциям обмена информацией.

Для обеспечения технической интероперабельности СЦИУС ее ТКС должна быть сформирована на основе единого базиса вышеуказанных сетевых протоколов, совместимых между собой.

Говоря о протоколах, в рамках модели OSI, нужно учитывать, что, как правило, протоколы физического, канального, сетевого и транспортного уровня, реализуются во всех объектах сети – и в сетевых узлах, и в абонентском оборудовании, а протоколы сеансового, представительского и прикладного уровня – только в абонентском оборудовании. Таким образом, «коммуникационное ядро» ТКС реализующее функции обмена информацией между абонентами, являются протоколы именно физического, канального, сетевого и транспортного уровня OSI.

В работах [[12](#), [14-21](#)] представлено описание протоколов, получивших широкое распространение в современных ТКС. Анализ этих работ позволяет сделать следующие выводы.

В своем подавляющем числе, современные ТКС СЦИУС на физическом и канальном уровне функционирования образуются наземными транспортными сетями с использованием стандартных протоколов коммутации каналов – PDH, SDH и OTN, а также протокола коммутации пакетов – Gigabit Ethernet, работающих поверх волоконно-оптических (ВОЛС), радиорелейных и спутниковых линий связи.

На сетевом и транспортном уровне, протокольный базис современных ТКС, представлен семейством протоколов стандартов IP/TCP и IP/MPLS.

Именно с использованием стандарта IP/MPLS, поверх PDH, SDH, OTN, и Gigabit Ethernet, строятся перспективные сети следующего поколения Next Generation Net (NGN), которые в максимальной степени соответствуют требованиям и принципам функционирования СЦИУС. Семейство протоколов MPLS поддерживает разветвленные функции управления качеством обслуживания (QoS – Quality of Service), которые гармонично интегрируются с сетями на основе стека протоколов IP, которые изначально имели довольно ограниченные возможности по обеспечению требуемого QoS передаваемого трафика.

Обобщая данные о протоколах современных ТКС, можно сформировать приблизительный рекомендуемый перечень широко распространенных сетевых протоколов ТКС [12, 14], поддержку которых нужно обеспечить для практической реализации технической интероперабельности в СЦИУС.

1) Базовые протоколы ТКС, обеспечивающие транспортные технологии физического и канального уровня в сетях:

- PDH;
- SDH;
- OTN;
- Fast Ethernet;
- Gigabit Ethernet.

2) Базовые протоколы ТКС, обеспечивающие передачу данных в сетях:

- IPv4;
- IPv6;
- MPLS;
- ICMP;
- ARP;
- DHCP.

3) Протоколы маршрутизации:

а) для внутрисетевой маршрутизации:

- OSPF, OSPF-TE;

- IS-IS;
- PNNI;
- IGRP (EIGRP) – при использовании оборудования компании Cisco;
- RIP;

б) для межсетевой маршрутизации:

- BGP 4;
- EBGP.

4) Протоколы групповой рассылки:

- IGMP;
- PIM (PIM-DM, PIM-SM, PIM-SSM);
- DVMRP.

5) Протоколы повышения устойчивости маршрутизации:

- STP, RSTP, PVSTP, MSTP;
- IP-trunk, E-trunk;
- RSVP;
- TDMoIP, TDMoP;
- HSRP, VRRP.

б) Протоколы и архитектуры обеспечения качества обслуживания трафика:

а) архитектуры обеспечения качества обслуживания:

- DiffServ;
- IntServ;
- Best Effort;

б) протоколы предотвращения перегрузок в очередях DiffServ:

- RED, WRED, ARED, MRED;
- сброс пакетов в конце очереди (Tail Drop);
- случайный сброс пакетов (Random Drop);
- отказ в приеме пакетов, переполняющих очередь (Drop Front on Full);

в) протоколы управления очередями DiffServ:

- FIFO;
- PQ;
- CQ;
- FQ, WFQ, CBWFQ;
- LLQ;
- RR, WRR, DWRR;

г) протоколы ограничения скорости DiffServ:

- ограничение трафика (Traffic Policing);
- выравнивание трафика (Traffic Shaping);

д) протоколы ограничения скорости IntServ:

- RSVP.

б) Протоколы обеспечения безопасности:

- протоколы формирования защищенных каналов (PPP, IPsec, АН, ESP, PPTP, SSL, TLS, S/MIME);
- IP-фильтрация и листы доступа ACL;
- авторизация при обмене маршрутной информацией;
- протоколы «луковой» и «чесночной» маршрутизации;
- другие специализированные протоколы.

2. Совместимость сетевых интерфейсов

Дадим определение понятию «интерфейс».

Интерфейс – совокупность средств и правил взаимодействия отдельных систем [12].

Отметим, что, как правило, под понятием «интерфейс» в практике построения сетей понимают именно средства (типы конструктивных разъемов, стыки оборудования, физические стандарты каналообразующей аппаратуры, электрические и оптические стандарты сигналов), обеспечивающие физическое подключение элементов СЦИУС к ТКС и обмен данными по стандартным протоколам. При этом под «правилами» понимаются правила формирования таких физических средств, с целью обеспечения их совместимости между собой.

Вместе с тем, понятие «интерфейс» в полной мере относится не только к физическому, но и к другим уровням модели OSI, определяя логику взаимодействия протоколов ТКС между собой, формат передаваемых в рамках одного протокола сообщений и пакетов, порядок их формирования, передачи, получения и обработки. Таким образом, понятие интерфейса оказывается тесно связано с ранее рассмотренным понятием протокола, определяя именно интерактивные свойства протокола.

Как и протоколы, в соответствии с этой моделью OSI, сетевые интерфейсы декомпозируются на 7 уровней, в зависимости от их функциональности [13]:

- 1) интерфейсы физического уровня;
- 2) интерфейсы канального уровня;
- 3) интерфейсы сетевого уровня;
- 4) интерфейсы транспортного уровня;
- 5) интерфейсы сеансового уровня;
- 6) интерфейсы представительного уровня;
- 7) интерфейсы прикладного уровня.

Обобщая данные о протоколах и их интерфейсах в современных ТКС [12, 14-21], можно сформировать приблизительный рекомендуемый перечень широко распространенных сетевых интерфейсов ТКС [12, 14], поддержку которых нужно обеспечить для практической реализации технической интероперабельности в СЦИУС.

1) На физическом уровне модели OSI.

а) консольные порты:

- RS-232;
- USB;

б) интерфейсы транспортной сети:

- Ethernet 100 BASE-SX (FX) – многомодовые и одномодовые ВОЛС;
- Ethernet 100 BASE-TX, IEEE 802.3u;
- Ethernet 1000 BASE-T;

- Ethernet 1000 BASE-LX – многомодовые и одномодовые ВОЛС;
- E1 G.703/G704, E2, E3, E4;
- STM-1, STM-4, STM-16, STM-64, STM-256;
- OTU1, OTU2, OTU3, OTU4;
- интерфейсы ТКС и систем связи предыдущих поколений;

в) протоколы управления:

- SNMP v.3;
- XML;
- SSH;
- Telnet;
- CLI;
- FTP, TFTP.

2) На канальном уровне модели OSI:

- IEEE 802.3 (Ethernet);
- PPP, MP-PPP;
- кадры Jumbo;
- авторизация и аутентификация (PAP/CHAP, 802.1X, RADIUS);
- L2 VPN;
- резервирование (LAG);
- Ethernet OAM;
- QoS DiffServ;
- STP, RSTP, PVSTP, MSTP.

3) На сетевом уровне модели OSI:

- IPv4, IPv6;
- MPLS;
- BGP4;
- балансировка трафика IP;
- многоадресные протоколы (PIM, DVMRP);
- авторизация и аутентификация (RADIUS).

4) На транспортном уровне модели OSI:

а) обеспечение качества обслуживания средствами IntServ:

- RSVP;

б) обеспечение качества обслуживания средствами DiffServ:

- выравнивание трафика (Shaping Traffic) на входящих и исходящих интерфейсах;
- регулирование трафика на исходящих интерфейсах (буферирование LLQ, WFQ, CB WFQ, WRED и т.д.);
- управление доступом (контроль доступа на базе адресов IP, портов TCP/UDP, полей TOS/DSCP и т.д.);
- как «прозрачный» перенос полей ToS и DSCP, так и их переопределение;
- ICMP;
- резервирование VRRP.

3. Требования по качеству обслуживания

Обеспечение качества обслуживания (QoS) пользовательского трафика в ТКС СЦИУС – важнейшая задача. Передача информации с недостаточной своевременностью и надежностью, по каналам связи с недостаточной пропускной способностью ведет к снижению оперативности и адекватности управления в СЦИУС.

Качество обслуживания – способность ТКС обеспечить необходимый (требуемый) уровень множества параметров при передаче пользовательской информации определенного типа путем использования различных сетевых технологий, протоколов и интерфейсов.

Современные ТКС должны обеспечивать передачу самой различной информации, в том числе критичной к оперативности обслуживания – аудио и видео данных. Качество обслуживания соответствующего типа данных в различных технологиях связи регламентируется рекомендациями международных организаций по стандартизации: ITU-T (серия Y.2xx), ETSI (NGNR.I, R.2), 3GPP/IETF (концепция IMS, R.5-R.7).

К основным параметрам QoS, которые задаются при передаче различных типов информации в ТКС, относятся [22, 23]:

- требуемая скорость передачи;
- задержка при передаче «из конца – в конец» соединения;
- джиттер (нежелательные отклонение времени прихода сообщений / пакетов друг относительно друга вследствие нестабильности передачи или отсутствия синхронизации);
- возможность потери сообщений / пакетов при передаче, а также допустимый уровень таких потерь.

К дополнительным параметрам QoS относятся [22, 23]:

- передача в реальном времени или без режима реального времени;
- необходимость установления соединения;
- необходимость синхронизации передачи.

Примерные значения основных показателей QoS, которые должны обеспечиваться при передаче трафика различного типа приведены в таблицах 1-2.

Таблица 1. Требования к качеству услуг, предоставляемых мультисервисными ТКС [22-24]

Тип информации	Задача пользователя	Требуемая скорость передачи	Параметры QoS		
			Задержка передачи	Джиттер	Допустимые потери, %
Аудио	Телефония	9,6-64 кбит/с	< 100 мс (отличное QoS); < 400 мс (допустимое QoS)	< 50 мс	<3%
	Передача голоса	4-32 кбит/с	< 1 с (для воспроизведения); < 2 с (для записи)	< 50 мс	<3%
	Звуковое вещание	16-128 кбит/с	< 10 с	< 50 мс	<1%
Видео	Видео-конференция	> 384 кбит/с	< 100 мс (отличное QoS); < 400 мс (допустимое QoS)	< 50 мс	<1%

	Видео по запросу	> 384 кбит/с	< 400 мс	< 50 мс	<1%
Данные	Просмотр WEB-страниц	> 128 кбит/с	< 2 с/стр. (отличное QoS); < 4 с/стр. (допустимое QoS)	-	< 10 ⁻³
	Передача файлов	10 кБ –10 МБ	< 15 с (отличное QoS); < 60 с (допустимое QoS)	-	< 10 ⁻³
	Передача изображений	> 128 кбит/с	< 15с (отличное QoS); < 60 с (допустимое QoS)	-	< 10 ⁻³
	Доступ к электронной почте	< 64 кбит/с	< 2 с (отличное QoS); < 4 с (допустимое QoS)	-	< 10 ⁻³
	Факс	~ 10 кБ	<3 0 с/стр.	-	< 10 ⁻⁶ BER

Таблица 2. Допустимые значения параметров QoS при передаче различных типов информации и предоставлении услуг связи [22-24]

Услуга связи	Время установления соединения, с	Вероятность разрыва соединения	Задержка, мс	Джиттер, мс	Вероятность потери данных
IP-телефония	0,5-1	10 ⁻³	25-500	50	10 ⁻³
Видеоконференция	0,5-1	10 ⁻³	30	50	10 ⁻³
Видео по запросу	0,5-1	10 ⁻³	30	50	10 ⁻³
Передача данных	0,5-1	10 ⁻⁶	50-1000	-	10 ⁻⁶
Телевизионное вещание	0,5-1	10 ⁻⁸	1000	-	10 ⁻⁸

Для обеспечения указанных параметров QoS, при передаче по ТКС информации различного типа, разработаны и применяются классы обслуживания CoS (Class of Service) и категории обслуживания (таблица 3 и 4).

Таблица 3. Характеристика различных типов передаваемой в ТКС информации [22, 23]

Характеристика типа передаваемой информации	Тип 1	Тип 2	Тип 3/4	Тип 5
		видео и телефония с постоянной скоростью	видео и телефония с переменной скоростью	интерактивная передача данных; факс; ЛВС
Необходимость установления соединения «источник-получатель»	Требуется		Не требуется	
Скорость передачи	Постоянная		Переменная	
Режим соединения	С установлением соединения		Без установления соединения	

Класс обслуживания – это стандартизированная совокупность значений показателей, характеризующая определенный уровень обслуживания при предоставлении определённой услуги в рамках определённой телекоммуникационной технологии с учетом характеристик типовых видов трафика [23].

Для типов 1-5 передаваемой информации предусмотрены следующие категории обслуживания (таблица 4):

- категория «Постоянная битовая скорость» – Constant Bit Rate (CBR) – обеспечивает соединения с поддержанием синхронности (аналог синхронного режима передачи на основе коммутации каналов). В ТКС заранее резервируются сетевые ресурсы и гарантируется качество передачи трафика с требуемыми параметрами QoS, но без анализа типа передаваемой информации;
- категория «Переменная битовая скорость для передачи в реальном времени» – Variable Bit Rate-Real Time (VBR-RT) – предназначена для передачи данных по ТКС с установлением соединения, поддержанием средней битовой скорости и заданной синхронностью передачи в

- реальном времени, что необходимо для приложений с переменной скоростью и с высокими требованиями к среднему значению и джиттеру задержки передачи;
- категория «Переменная битовая скорость для передачи не в реальном времени» – Variable Bit Rate-Non Real Time (VBR-NRT) – предназначена для передачи данных по ТКС с установлением соединения и поддержанием средней битовой скорости без соблюдения синхронности передачи. Оконечные абоненты указывают максимальную скорость передачи сообщений/пакетов, а также определяют, насколько неравномерным может быть их поток. Данная используется ТКС для резервирования необходимых ресурсов, чтобы обеспечить относительно низкую задержку и минимальную потерю сообщений/пакетов. Категория VBR-NRT, как правило, используется для передачи данных с критичными требованиями ко времени отклика;
 - Категория «Рекомендуемая битовая скорость» – Available Bit Rate (ABR) предназначена для передачи данных по ТКС с установлением соединения и поддержанием минимальной битовой скорости передачи данных (некритичных к задержкам) с заданной достоверностью без соблюдения синхронизации источника и приемника с предоставлением пользователю доступной полосы пропускания физического канала. Приложения указывают максимальную (PCR – Peak Cell Rate) и минимальную скорости (MCR – Minimum Cell Rate) передачи данных. Сеть резервирует ресурсы таким образом, чтобы все приложения категории ABR получили, по меньшей мере, ресурсы, соответствующие указанным ими значениями MCR. Оставшиеся свободные сетевые ресурсы справедливым образом распределяются между всеми пользователями ABR на основе явной обратной связи. Все сетевые ресурсы, не занятые источниками ABR, остаются доступными для категории UBR.

- Категория «Неопределенная битовая скорость» – Unspecified Bit Rate (UBR) предназначена для передачи по ТКС данных некритичных к задержкам без установления соединения и без гарантий качества обслуживания. То есть эта категория поддерживает режим передачи низкоприоритетных данных с переменной скоростью без выделения гарантированных ресурсов сети. При использовании категории UBR источник передаваемых данных не получает каких-либо гарантий передачи и не обеспечивается обратной связью в случае перегрузки сети;
- категория «Гарантированная скорость кадров» – Guaranteed Frame Rate (GFR) специально разработана для поддержки IP-сетей, и для оптимизации управления потоками данных, проходящим из сетей, в которых не предусмотрено обеспечение QoS, в сеть, где такая поддержка предусмотрена. Один из методов, используемых для обслуживания категории GFR для обеспечения более высокой производительности по сравнению со службой UBR, заключается в требовании того, чтобы элементы сети имели информацию о границах пакетов, или кадров. Таким образом, в случае возникновения перегрузки элемент сети может отвергнуть не произвольные ячейки, а все ячейки, относящиеся к одному пакету (кадру). Служба GFR также позволяет пользователю резервировать ресурсы для каждого виртуального канала GFR. В результате приложение получает гарантию, что минимальная требуемая производительность будет поддерживаться, а дополнительные пакеты (кадры) могут передаваться по сети, если нет перегрузки.

Таблица 4. Классы QoS и категории обслуживания в ТКС [22, 23]

Тип трафика	Категория обслуживания	Класс обслуживания CoS / Сервисный класс (I.362)	Свойства			
			Гарантия полосы пропускания	Пригодность для импульсного	Наличие обратной связи	Синхронизация между источником и приемником
Трафик реального времени	CBR	1/A	+	-	-	+
	VBR-RT	2/B	+	+	-	+
Трафик нереального времени	VBR-NRT	3/C	+	+	-	-
	ABR	3/C	min	+	+	-
	UBR	4/D	-	+	+	-
	GFR	5/-				

В соответствии с классами обслуживания CoS, для передаваемых данных устанавливаются численные значения показателей QoS – см. пример в таблице 5.

Таблица 5. Типичный пример задания классов обслуживания при передаче данных в ТКС [25]

Требования к параметрам QoS	Значения					
Категория обслуживания	CBR	VBR-RT	VBR-NRT	ABR	UBR	GFR
Класс обслуживания CoS	1	2	3	3	4	5
Сервисный класс по I.362	A	B	C	C	D	-
Класс DiffServ	RT	RT	P	P	NP	NP
Требования к сети:						
Среднее время между отказами, ч	500	400	400	200	н/о	н/о

Среднее время ремонта, с	300	600	3600	н/о	н/о	н/о
Среднее время восстановления работоспособности, с	600	1600	7200	н/о	н/о	н/о
Требования к соединению:						
Допустимая верхняя граница величины задержек пакетов (max IPTD), мс	100	400	100	400	1000	н/о
Допустимая верхняя граница вариации задержек (джиттера) пакетов (max IPDV), мс	50	50	н/о	н/о	н/о	н/о
Допустимая верхняя граница вероятности потери пакета (max IPLR)	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	н/о
Допустимая верхняя граница значения вероятности доставки пакета с ошибками (max IPER)	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}	н/о

Примечание: «н/о» – не определено.

Для обеспечения требуемого QoS на сетевом и транспортном уровнях OSI в ТКС используются стандартные архитектуры обеспечения QoS.

К основным архитектурам обеспечения QoS в ТКС относятся [21]:

- *обслуживание с максимальными усилиями, но без гарантий (Best Effort)* – архитектура, использующая механизм выделения дополнительной пропускной способности без использования «тонких» способов управления передачей пользовательских данных;

- *интегрированное обслуживание* (IntServ – Integrated Service) – архитектура, использующая протокол RSVP для резервирования сетевых ресурсов в каналах и в узлах ТКС на этапе установления соединения, после чего обеспечивающая QoS во всем соединении путем контроля соблюдения качества обслуживания во всех промежуточных элементах сети;
- *дифференцированное обслуживание* (DiffServ – Differentiated Service) – архитектура, использующая классификацию трафика по классам обслуживания CoS на границе сети, определение требуемого качества обслуживания для каждого класса с последующим распределением сетевых ресурсов сети с целью гарантировать QoS допущенного в сеть трафика. Данная архитектура поддерживает управление формированием трафика (классификация пакетов, маркировка, управление интенсивностью и др.) и управление политикой обслуживания (распределение сетевых ресурсов, приоритетность отбрасывания пакетов и т.д.).

Основной архитектурой обеспечения качества обслуживания в современных ТКС, как правило, является DiffServ. Для обеспечения высокой эффективности архитектуры DiffServ ее должны поддерживать все сетевые устройства ТКС.

В самом общем случае архитектура DiffServ поддерживает три базовых класса обслуживания трафика (таблица 5) [21]:

- данные «реального времени» (Real Time – RT);
- приоритетные данные (Priority – P);
- неприоритетные данные (Non priority – NP).

Для класса обслуживания RT поддерживается четыре приоритета абонентов, для классов P, NP – по три приоритета абонентов.

Зачастую производители оборудования для ТКС вводят собственные маркировки классов обслуживания, учитывающие различные особенности

передачи данных, однако при этом, как правило, берутся за основу классы обслуживания, принятые в технологиях DiffServ для MPLS.

Сетевые устройства, поддерживающие DiffServ, используют различные входные/выходные очереди для потоков данных различных классов обслуживания, а также основанные на этих классах приоритетные механизмы обслуживания очередей CQ (Class based Queuing) [21]:

- механизмы предотвращения перегрузок очередей;
- механизмы управления очередями;
- механизмы ограничения скорости.

К наиболее распространенным механизмам предотвращения перегрузок очередей относятся [21]:

- раннее обнаружение перегрузок в очередях – RED (Random Early Detection);
- взвешенное раннее обнаружение перегрузок в очередях – WRED (Weighted Random Early Detection);
- адаптивное раннее обнаружение перегрузок в очередях – ARED (Adaptive Random Early Detection);
- многоуровневое раннее обнаружение перегрузок в очередях – MRED (Multilevel Random Early Detection);
- сброс пакетов в конце очереди (Tail Drop);
- случайный сброс пакетов (Random Drop);
- отказ в приеме пакетов, переполняющих очередь (Drop Front on Full) и др.

К наиболее распространенным механизмам управления очередями относятся [21]:

- «первый пришел – первый обслужился» – FIFO (First In – First Out);
- приоритетное обслуживание в очереди – PQ (Priority Queuing);
- настраиваемые очереди – CQ (Custom Queuing);
- справедливое обслуживание в очереди – FQ (Fair Queuing);

- взвешенное справедливое обслуживание в очереди – WFQ (Weighted Fair Queuing);
- взвешенное справедливое обслуживание в очереди на основе классов – CBWFQ (Class-Based Weighted Fair Queuing);
- приоритетное взвешенное справедливое обслуживание в очереди на основе классов (PQ-CBWFQ – Priority Class-Based Weighted Fair Queuing), обеспечивающее низкую задержку обслуживания очереди – LLQ (Low Latency Queuing);
- круговой циклический алгоритм обслуживания очереди – RR (Robin Round);
- взвешенный круговой циклический алгоритм обслуживания очереди – WRR (Weighted Robin Round);
- дефицитный взвешенный круговой циклический алгоритм обслуживания очереди – DWRR (Deficit Weighted Robin Round) и др.

К механизмам ограничения скорости относятся [21]:

- технологии ограничения трафика (Traffic Policing) – отбрасывает пакеты, создающие перегрузку;
- технологии выравнивания трафика (Traffic Shaping) – помещает пакеты, создающие перегрузку, в буфер и обслуживает их при снижении нагрузки;

При реализации обеих этих технологий могут использоваться алгоритмы:

- алгоритм «дырявого ведра» (Leaky Bucket) – основан на том, что независимо от количества передаваемых пакетов, поступающих в буфер, выборка пакетов из буфера ведется с постоянной скоростью (по аналогии с дырявым ведром);
- алгоритм «маркерного ведра» (Token Bucket) – основан на том, что выборка пакетов из буфера регулируется виртуальными маркерами, каждый из которых соответствует передаче определенного объема данных.

Граничные маршрутизаторы в каждой ТКС должны поддерживать классификацию поступающих потоков данных (Traffic Classification), а также сопоставление интенсивности их поступления и достаточности доступных сетевых ресурсов для их обслуживания. При этом, при передаче потоков данных в другие ТКС, в граничных маршрутизаторах они могут быть перемаркированы. Вариантом такой перемаркировки может быть следующие классы [26]:

- RT (Real Time) – трафик, критичный к задержкам и джиттеру;
- BC (Business Critical) – трафик, критичный к полосе пропускания;
- BE (Best Effort) – трафик терпимый к потерям и задержкам.

Для контроля перегрузок и выполнения ограничений по интенсивности и структуре потоков данных в отдельной ТКС граничные маршрутизаторы должны использовать вышеуказанные механизмы предотвращения перегрузок и управления очередями, а также механизмы ограничения скорости поступления данных. При невозможности обслуживания потоков данных, поступающие данные либо сбрасывается, либо дополнительно буферизируются с пометкой «Best Effort». Данная пометка означает, что данные будут передаваться без какой-либо гарантии обеспечения конкретных требований к обслуживанию, но с максимальными усилиями со стороны сетевых устройств по его соблюдению.

Заключение

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Одними из основных составляющих технической интероперабельности СЦИУС являются аспекты совместимости протоколов, интерфейсов и требований по качеству обслуживания в ее сетевой инфраструктуре.
2. Совместимость протоколов должна обеспечиваться в соответствии с моделью OSI, при этом критичным для обеспечения беспрепятственного обмена информацией в СЦИУС является

обеспечение совместимости протоколов физического, канального, сетевого и транспортного уровня.

3. Совместимость интерфейсов также должна обеспечиваться в соответствии с моделью OSI, при этом критичным для обеспечения беспрепятственного обмена информацией в СЦИУС является обеспечение совместимости интерфейсов физического, канального, сетевого и транспортного уровня.
4. При обеспечении качества обслуживания передаваемая информация классифицируется по типу (видео, голос, интерактивные данные, данные не критичные к задержки и т.д.) в соответствии с которым им присваивается класс и категория обслуживания. Для передачи информации различных классов и категорий обслуживания в сети используются протоколы сетевого и транспортного уровня OSI, в подавляющем числе случаев, использующих для обслуживания трафика архитектуру DiffServ.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 19-07-00774 «Исследование проблемы интероперабельности при реализации принципов сетевых информационных-управляющих систем».

Литература

1. ISO/IEC/IEEE 24765:2017. Systems and software engineering. Vocabulary. – ISO, 2017. – 522 p.
2. ГОСТ Р 55062-2012. Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
3. Макаренко С. И., Иванов М. С. Сетевая война – принципы, технологии, примеры и перспективы. Монография. – СПб.: Научно-технологические, 2018. – 898 с.

4. Макаренко С. И., Олейников А. Я., Черницкая Т. Е. Модели интероперабельности информационных систем // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 4. С. 215-245. <https://doi.org/10.24411/2410-9916-2019-10408>
5. Козлов С. В., Макаренко С. И., Олейников А. Я., Растягаев Д. В., Черницкая Т. Е. Проблема интероперабельности в сетевых системах управления // Журнал радиоэлектроники. 2019. № 12. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2019.12.4>
6. Маслобоев А. В. Средства поддержки интероперабельности сетевых систем управления региональной безопасностью // Надежность и качество сложных систем. 2020. № 1 (29). С. 91-105. <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2020-1-11>
7. Маслобоев А. В. Проблемы и технологии обеспечения интероперабельности информационных систем региональных ситуационных центров // Информационно-технологический вестник. 2020. № 2 (24). С. 107-119.
8. Башлыкова А. А., Козлов С. В., Макаренко С. И., Олейников А. Я., Фомин И. А. Подход к обеспечению интероперабельности в сетевых системах управления // Журнал радиоэлектроники. 2020. № 6. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.6.13>
9. Черницкая Т. Е., Макаренко С. И., Растягаев Д. В. Аспекты автоматизации функций управления, принятия решений и сетевого взаимодействия в рамках оценки интероперабельности сетевых систем // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2020. № 3. С. 138-145. <https://doi.org/10.25586/RNU.V9187.20.03.P.138>
10. Олейников А. Я., Растягаев Д. В., Фомин И. А. Основные положения концепции обеспечения интероперабельности сетевых систем // Вестник Российского нового

- университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2020. № 3. С. 122-131. <https://doi.org/10.25586/RNU.V9187.20.03.P.122>
11. Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises (SCOPE) Model for Interoperability Assessment. Version 1.0. – NCOIC, 2008. – 154 p.
 12. Макаренко С. И. Модели системы связи в условиях преднамеренных дестабилизирующих воздействий и ведения разведки. Монография. – СПб.: Научно-технологические технологии, 2020. – 337 с.
 13. ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1-99 Информационная технология (ИТ). Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель. Часть 1. Базовая модель. – М, 2000. – 113 с.
 14. Макаренко С. И. Описательная модель сети связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 2. С. 113-164. <https://doi.org/10.24411/2410-9916-2017-10205>
 15. Макаренко С. И. Перспективы и проблемные вопросы развития сетей связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 2. С. 18-68. <https://doi.org/10.24411/2410-9916-2017-10202>
 16. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб.: Питер, 2010. – 945 с.
 17. Cisco Networking Academy Program CCNA 3 and 4. Companion Guide. Cisco Press Publ., 2007. 1168 p.
 18. Гордиенко В. Н., Тверецкий М. С. Многоканальные телекоммуникационные системы. – М.: Горячая линия - Телеком, 2013. – 397 с.
 19. Крухмалев В. В., Гордиенко В. Н., Моченов А. Д., Иванов В. И., Бурдин В. А., Крыжановский А. В., Марыкова Л. А. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей / Под ред. В.Н. Гордиенко и В.В. Крухмалева. – М.: Горячая линия - Телеком, 2004. – 510 с.
 20. Соколов Н. А. Телекоммуникационные сети. Монография в 4-х частях. – М.: Альварес Пабблишинг, 2003, 2004.

21. Кучерявый Е. А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. – СПб.: Наука и техника, 2004. – 336 с.
22. Макаренко С. И., Бородин Р. В. Анализ технологий обеспечения качества обслуживания в мультисервисных АТМ сетях // Информационные технологии моделирования и управления. 2012. № 1 (73). С. 65-79.
23. Назаров А. Н., Сычев К. И. Модели и методы расчёта показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения. – Красноярск: Поликом, 2010. – 389 с.
24. Смирнов П. И. Способы оценки показателей качества обслуживания в мультисервисных сетях // НИИ «Масштаб» [Электронный ресурс]. 12.11.2012. – URL: <https://www.mashtab.org/company/massmedia/articles/qos/> (дата обращения: 17.10.2020).
25. Классы обслуживания // OpenGL [Электронный ресурс]. 2020. – URL: <https://www.opengl.org.ru/seti-peredachi-paketnykh-dannykh/klassy-obsluzhivaniya.html> (дата обращения: 17.10.2020).
26. Воробьев С. П., Давыдов А. Е., Ефимов В. В., Курносков В. И. Инфокоммуникационные сети: энциклопедия. Том 1: Инфокоммуникационные сети: классификация, структура, архитектура, жизненный цикл, технологии / Под ред. С. П. Воробьева. – СПб.: Научно-технические технологии, 2019. – 739 с.

Для цитирования:

Макаренко С.И., Черницкая Т.Е. Аспекты совместимости сетевых протоколов, интерфейсов и требований по качеству обслуживания в рамках оценки интероперабельности сетевых информационных управляющих систем. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2020. №10. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.10.4>