



DOI 10.52350/2072215X_2022_4_31

ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНИКИ КАТЕГОРИЙ 7 И 7a В ПРОЕКТАХ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ СОВРЕМЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ

PROSPECTS OF CATEGORIES 7 AND 7a CABLES IN PROJECTS OF INFORMATION CABLING NETWORKS CONSTRUCTION IN MODERN RESIDENTIAL BUILDINGS

Е.К. Запорощенко, *Cand. Sc. (Engineering), Assistant Professor, Chief Technical Expert on SCS, SPL Group;*
А.В. Семёнов, *Dr. Sc. (Engineering), Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering*

Е.К. Запорощенко, *канд. техн. наук, доцент, главный технический специалист по СКС, SPL Group;*
А.В. Семёнов, *д-р техн. наук, профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

Аннотация. Определена шенноновская пропускная способность кабельных трактов различных категорий и обоснован более чем 3-кратный выигрыш техники категорий 7 и 7a над популярными решениями категории 6a. Рассмотрены причины малого распространения техники категорий 7 и 7a и отмечен потенциал роста её востребованности уже в ближайшей перспективе в связи с началом массового внедрения светодиодного освещения, активных консолидационных точек и точек доступа Wi-Fi стандарта IEEE 802.11ax.

Ключевые слова: кабельный тракт, переходная помеха, граничная частота, шенноновская пропускная способность

Abstract. The Shannon capacity of cable channels of various categories is determined and grounds for a more than a three-fold gain of categories 7 and 7a equipment over popular solutions of category 6a are given.

Reasons for the low spread of equipment of categories 7 and 7a are considered and the potential for its demand growth in the near future is noted in view of the beginning of mass introduction of LED lighting, active consolidation points and Wi-Fi access points of the IEEE 802.11ax standard.

Key words: cable channel, crosstalk, cut-off frequency, Shannon capacity

*Материал поступил в редакцию 7.08.2022
E-mail: e_zpas@mail.ru, andre52.55@mail.ru*

На современном объекте недвижимости практически обязательным является создание информационно-телекоммуникационной системы (ИТС). ИТС реализуется в соответствии с проверенной временем 7-уровневой моделью открытых систем, в составе которой выделяется отдельный, чисто пассивный физический уровень. Несмотря на формальное равнопра-

вие кабельных и беспроводных решений в основной массе случаев применяется информационная проводка кабелей из витых пар. За беспроводными решениями остаются только немногочисленные нишевые области, в которых прокладка кабельных линий физически невозможна или нецелесообразна в силу различных причин.

Слаботочная информационная проводка выполняется в виде структурированной кабельной системы (СКС), описываемой соответствующими стандартами. По обеспечиваемой пропускной способности СКС делятся на классы. Вместо понятия «класс» часто употребляется термин «категория», который, строго говоря, относится к элементной базе, но может быть распространён на стационарные линии и кабельные тракты СКС при их реализации по открытой схеме.

Кабельная система более высокой категории всегда превосходит свои функциональные аналоги младших классов/категорий по пропускной способности за счёт внедрения ряда усовершенствований. Определённое значение имеет также дополнительное нормирование тех параметров, которые непосредственно или косвенно влияют на качество передачи (преимущественно на отношение сигнала к шуму на входе приёмника сетевого интерфейса).

Далее рассмотрены особенности симметричных кабельных трактов, созданных на базе техники категорий 7 и 7а, а также приведена оценка перспективы применения СКС на их основе в нашей стране. Подобные кабельные системы достаточно распространены в Европе, в первую очередь в немецкоязычных странах, частично во Франции и Англии, а также в Польше и Финляндии. От своих аналогов с меньшими классами/категориями отличаются возможностью реализации исключительно в экранированной форме, а также повышенной пропускной способностью, которая потенциально может оказаться неплохо востребованной в перспективе.

ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНИКИ КАТЕГОРИЙ 7 и 7а

Изначально кабельная система с индивидуальным экранированием отдельных витых пар и верхней граничной частотой нормирования параметров 600 МГц была разработана в середине 90-х годов прошлого столетия в Европе. Она обеспечивала типовую для СКС 100-метровую предельную протяжённость кабельного тракта и была ориентирована на поддержку функционирования 2-парных 622-мегабитных сетевых интерфейсов АТМ. Для обеспечения заданных качественных показателей канала связи в качестве рабочих были использованы пары, разведённые по контактам 1-2 и 7-8 розетки модульного разъёма (третья и четвёртая пары при разводке 568А или вторая и четвёртая пары при разводке 568В), что сразу же давало выигрыш по уровню переходной помехи примерно на 10 дБ.

Данная СКС первоначально была отнесена к категории 6, однако момент завершения её создания совпал по времени с периодом гармонизации между-

народных/европейских и американских стандартов. В результате обозначение «категория 6» было передано технике с верхней граничной частотой 200 (250) МГц, а 600-мегагерцовые линии стали относиться к следующему уровню категории 7.

Следующим логичным шагом развития техники категории 7 стало создание на её основе системы категории 7а, которое свелось, де-факто, к увеличению верхней граничной частоты рабочего диапазона до 1000 МГц. В качестве прототипа использовались популярные в 90-е годы прошлого века так называемые кабели мультимедиа со структурой SF/FTP и повышенной до 862 МГц верхней граничной частотой нормирования параметров. Некоторое ужесточение норм в части минимально обеспечиваемого переходного затухания и снижения затухания в отношении категории 7а носит преимущественно косметический характер и отражает, скорее, эволюционное совершенствование техники. Например, предельные удельные потери в изоляции установлены на уровне 0,005 дБ/(Гц×100 м) против 0,01 дБ/(Гц×100 м) у кабелей категории 7. Расширение рабочего частотного диапазона производилось с целью гарантированного обеспечения функционирования систем 120-канального аналогового спутникового телевидения, распределяемого по информационным розеткам кабельных трактов из витых пар.

В свою очередь, техника категории 7а была использована в качестве прототипа СКС категории 8.2 с верхней граничной частотой 2000 МГц, что позволило передавать сигналы со скоростью 25 и 40 Гбит/с. Платой за это стало сокращение предельной протяжённости тракта до 50 и 30 м, соответственно [1].

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ КАБЕЛЬНЫХ ТРАКТОВ КЛАССОВ F и Fa

Нарращивание технико-экономической эффективности линий связи отдельных узлов внутриобъектовой ИТС, физический уровень которых выполнен на базе кабелей из витых пар, достигается применением:

- схемы параллельной передачи;
- глубокой обработки формируемого на передаче и принимаемого на противоположном конце тракта линейного сигнала с целью максимальной утилизации потенциальной пропускной способности канала связи;
- двунаправленной передачи данных по каждой витой паре.

Данная особенность позволяет использовать в качестве численной меры технического уровня таких линий шенноновскую пропускную способность. С учётом функционирования сетевых интерфейсов в дуплексном режиме и преобладающего влияния пере-



ходных помех ближнего и дальнего концов её можно определить как

$$W = 4 \int_0^{\infty} [\log_2(1 + GPSACR(f))] df = 4 \int_0^{f_b} [\log_2(1 + GPSACR(f))] df \quad (1)$$

где f_b – верхняя граничная частота тракта; $GPSACR(f)$ – защищённость от так называемой суммарной глобальной переходной помехи.

Справедливость замены интервала интегрирования $[0, \infty]$ на $[0, f_b]$ во второй части равенства (1) определяется наличием в приёмнике и передатчике сетевой аппаратуры ФНЧ высокого порядка, подавляющих ВЧ-составляющие линейного сигнала и, соответственно, порождаемую им переходную помеху.

Для определения $GPSACR(f)$ воспользуемся величинами защищённости для ближнего и дальнего конца. Для ближнего конца согласно моделям стандарта ISO/IEC 11801-1:2017 имеем:

$$PSACR - N(f) = PSNEXT(f) - IL(f) \text{ дБ,}$$

где $PSNEXT(f) = -20 \lg \left[10^{\frac{PSNEXT_0 - 15 \log(f)}{-20}} + 2 \cdot 10^{\frac{PSNEXT_1 - k \cdot \log(f)}{-20}} \right] \text{ дБ,}$

причём $k=15$ или $k=20$ дБ для техники категорий 7 и 7а, соответственно;

$PSNEXT_0$ – суммарное переходное затухание на ближнем конце кабеля (для линейного и шнурового кабелей считается одинаковым) на частоте $f=1$ МГц (для техники категорий 7 и 7а составляет 99,4 и 102,4 дБ, соответственно);

$PSNEXT_1$ – суммарное переходное затухание на ближнем конце разъёма на частоте $f=1$ МГц (для техники категорий 7 и 7а составляет 99,4 и 113,4 дБ, соответственно);

$$IL(f) = 1,05 \left(a\sqrt{f} + b \cdot f + \frac{c}{\sqrt{f}} \right) \text{ дБ/100 м -}$$

затухание кабельного тракта с физической длиной 100 м (a, b и c – коэффициенты, учитывающие потери в металле, диэлектрике и низкочастотное рассогласование за счёт роста волнового сопротивления).

Для дальнего конца

$$PSACR - F(f) =$$

$$= -20 \lg \left[10^{\frac{PSACRF_0 - 15 \log(f)}{-20}} + 2 \cdot 10^{\frac{PSACRF_1 - k \cdot \log(f)}{-20}} \right] \text{ дБ,}$$

где $PSACRF_0$ – составляющая суммарной защищённости дальнего конца, определяемая линейным и шнуровыми кабелями (для техники категорий 7 и 7а составляет 91 и 92,3 дБ, соответственно);

$PSACRF_1$ – составляющая суммарной защищённости дальнего конца, определяемая разъёмами (для техники категорий 7 и 7а составляет 87 и 100,9 дБ, соответственно).

Величину $GPSACR(f)$ при единичном напряжении входного сигнала кабельного тракта в предположении суммирования переходной помехи ближнего и дальнего концов по мощности найдём как

$$GPSACR(f) = \left(10^{\frac{PSACRN(f)}{-10}} + 10^{\frac{PSACRF(f)}{-10}} \right)^{-0,5} \quad (2)$$

Верхнюю граничную частоту f_b кабельного тракта на основании (2) определим как решение уравнения $GPSACR(f)=1$, а её физический смысл в графической форме демонстрирует рис. 1.

Расчёты шенноновской пропускной способности для техники разных категорий выполнялись в среде MathCad по (1) и приведены в таблице. Из них видно, что кабельные тракты категорий 7 и 7а обеспечивают более чем 3-кратный рост пропускной способности по сравнению с техникой категорий 6 и 6а. Однако она не достигает 10 Гбит/с и требует применения активной аппаратурной компенсации переходной помехи в сетевом интерфейсе. Платой за повышенную пропускную способность становится более сложная и трудоёмкая в монтаже конструкция линейных кабелей и разъёмов.

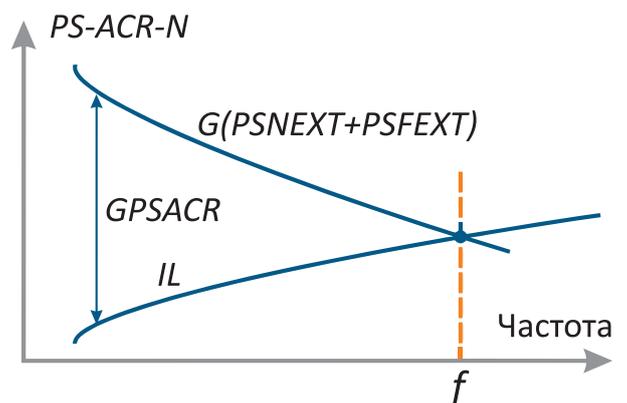


Рис. 1. К определению верхней граничной частоты кабельного тракта

Таблица 6

Расчётные значения шенноновской пропускной способности 100-метровых кабельных трактов различных категорий

Категория тракта	5e	6	6a	7	7a
W , Гбит/с	1,31	2,45	2,58	7,99	9,59
f_B , МГц	114,6	199,7	213,6	500,9	561

ПРАКТИЧЕСКАЯ ВОСТРЕБОВАННОСТЬ ТЕХНИКИ КАТЕГОРИЙ 7 и 7a

Сильная сторона техники категорий 7 и 7a в виде высокой пропускной способности не может быть полноценно использована на практике применительно к аппаратуре Ethernet локальных сетей как популярного приложения, наиболее требовательного к пропускной способности кабельного тракта. Это определяется рядом обстоятельств.

Во-первых, даже в варианте 7a СКС не позволяет получить скорость 10 Гбит/с при тракте максимальной 100-метровой протяжённости без дополнительной аппаратурной компенсации переходных помех, выполняемой в приёмнике сетевого интерфейса. В этой ситуации предпочтение естественным образом отдаётся более простой в монтаже технике категории 6a.

Во-вторых, нормы на переходное затухание разъёмов категорий 7 и 7a таковы, что они не могут быть выполнены на соединителях модульного типа по паре контактов 3-6 и 4-5. Это влечёт за собой необходимость перехода на соединители типа Tera (разработка компании Siemon), GG45 (разработка компании Nexans Cabling Solutions), ARJ-45 (разработка компании Bel-Stewart), к которым добавляются некоторые менее распространённые европейские разработки, например EC7. Соответственно, для подключения к сетевой аппаратуре потребуется переходной шнур, что неудобно с эксплуатационной точки зрения.

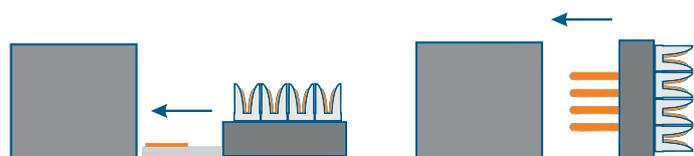


Рис. 2. Варианты исполнения разборного розеточного модуля для смены типа интерфейса в процессе эксплуатации СКС

Недостаток несоответствия типов интерфейсов может быть частично устранён переходом на разборную конструкцию розеточного модуля, что позволяет менять тип интерфейса в процессе эксплуатации (рис. 2). Расчёт по (1) и (2) в случае понижения категории соединителя до уровня 6a даёт примерно двукратное снижение значения W , что, однако, вполне достаточно для удовлетворения потребностей сегодняшнего дня.

Распространение техники категорий 7 и 7a в массовой инженерной практике значимо сдерживают также:

- явно выраженная избыточность этой техники по пропускной способности: массовый потребитель не в состоянии полноценно воспринимать информационные потоки, поступающие к нему со скоростью свыше 50 Мбит/с;
- отсутствие кабельных изделий в наиболее технологичном с точки зрения монтажа исполнении U/UTP;
- хорошая электромагнитная обстановка в офисных помещениях, изначально задаваемая нормами СанПиН;
- необходимость обязательного наличия нормального телекоммуникационного заземления, которое реально создаётся только на объектах связи в соответствии с требованиями, например, норм стандарта ГОСТ 12.1.030; защитное заземление по ПУЭ в общем случае не может гарантированно выполнять его функции из-за отсутствия обязательного контроля его частотных свойств.

Количественно соотношение достоинств и недостатков фактически определяет сегмент применения техники категорий 7 и 7a в классической области теми случаями, когда от кабельных линий требуется высокая защищённость в электромагнитном смысле этого понятия. В качестве примеров можно сослаться на жёсткие условия промышленных сетей и передачи конфиденциальной информации. Применительно к последнему случаю необходимость использования техники уровня не ниже S/FTP в явном виде зафиксирована в нормах СТР 97-2000.

ДИСТАНЦИОННОЕ ПИТАНИЕ PoE И ТЕХНИКА КАТЕГОРИЙ 7 и 7a

Одним из трендов, который отчётливо проявился буквально в последние пять лет, становится массовое применение технологии PoE, которая ориентирована на дистанционное питание многочисленных терминальных устройств вновь вводимых систем комплекса ИТС [1]. В качестве примера таковых сошлёмся на телекамеры системы видеонаблюдения, точки беспроводного доступа Wi-Fi, терминалы СКУД и аналогичное им оборудование. Кроме того, нельзя игнорировать управляемое светодиодное освещение.

Оборудование PoE нормировано спецификациями IEEE 802.3af/at/bt и может быть реализовано по-разному. В подавляющем большинстве случаев

оно представляет собой внутренний блок коммутатора Ethernet уровня рабочей группы.

Спецификации IEEE 802.3af/at/bt основаны на моделях горизонтального тракта структурированной проводки и хорошо гармонизированы со стандартами СКС. Главным отличием становится необходимость учёта ограничения предельной протяжённости тракта при высокой мощности потребления терминального устройства [2]. Это определяется тем, что начинает проявляться нагрев кабельных пакетов, который особо сказывается на внутренних кабелях. Ситуация с ростом температуры усугубляется тем, что кабельные трассы обычно организуются в некондиционируемом пространстве за фальшпотолком (рис. 3).

В таких условиях кабели категорий 7 и 7a с их повышенным диаметром ТПЖ и хорошим теплоотводом за счёт наличия многочисленных экранов оказываются

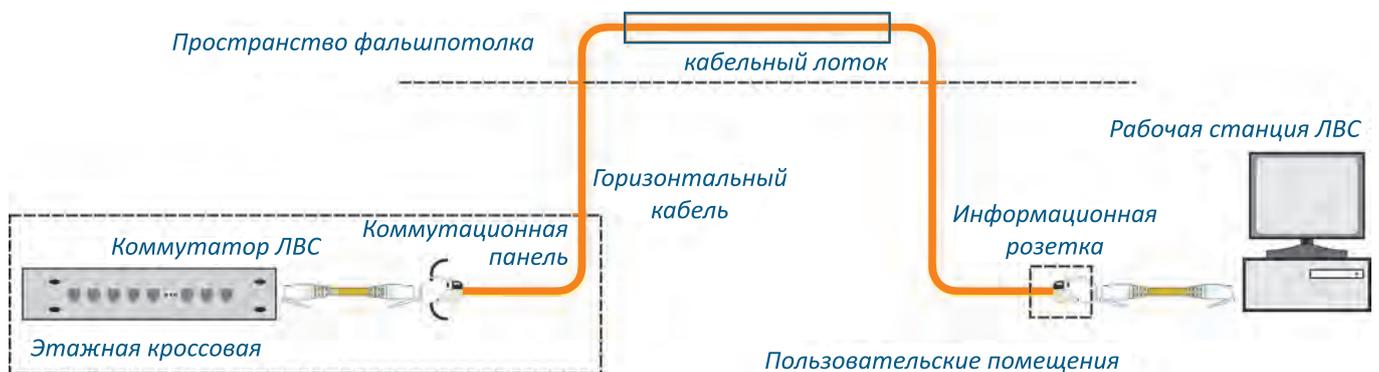


Рис. 3. Типовая конфигурация трассы прокладки горизонтального кабеля СКС

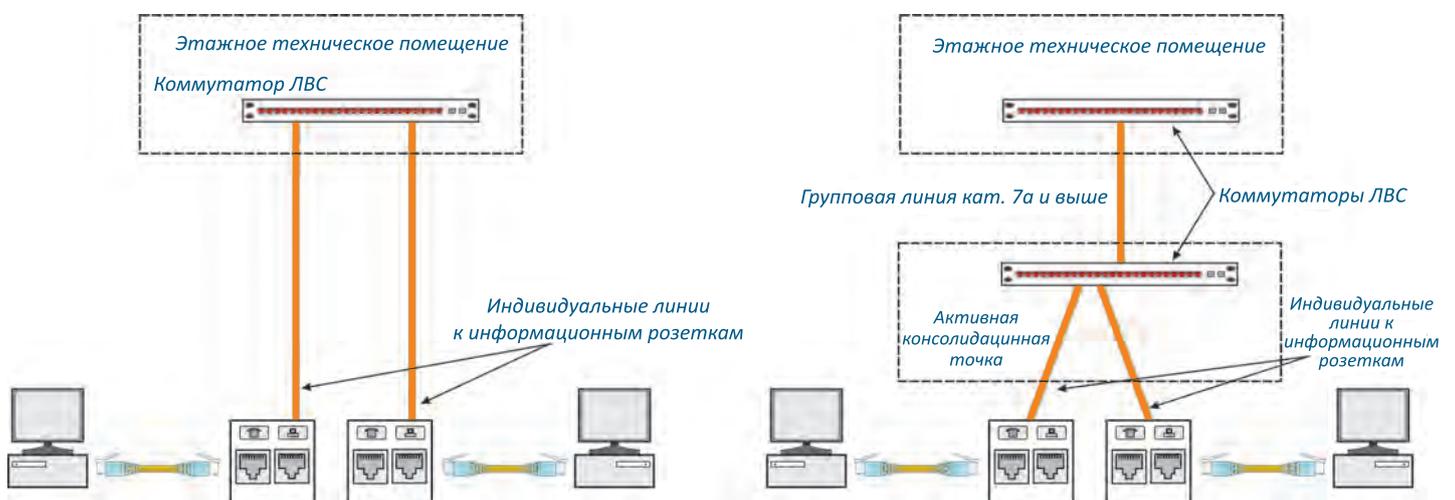


Рис. 4. Варианты организации нижнего уровня информационной системы: слева – традиционная, справа – на основе активной консолидационной точки

ся в заметно более выигрышном положении. Для них характерен существенно меньший дополнительный нагрев, то есть деградация передаточных параметров под действием тока дистанционного питания. Потребность массовой организации таких линий заметно возрастёт в случае начала широкого внедрения в «умных домах» систем управляемого светодиодного освещения, для панелей которых характерны мощности потребления вплоть до 90 Вт [3].

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КАТЕГОРИЙ 7 и 7а

Современные сетевые интерфейсы обеспечивают аппаратное подавление переходной помехи ближнего конца примерно на 40 дБ, а дальнего – на 20 дБ. При их включении соответствующих блоков в сочетании с сокращением предельной протяжённости тракта до 30–32 м и переходе на 2-коннекторную модель тракта (на нормативном уровне практикуется в технике категории 8) пропускная способность начинает превышать 100 Гбит/с. Однако такая скорость уже не соответствует потребностям современных центров обработки данных, где по состоянию на сегодняшний день требуются скорости передачи 400 Гбит/с.

Высокая пропускная способность линий категорий 7 и 7а потребуется в случае обслуживания точек радиодоступа Wi-Fi последних поколений (стандарт IEEE 802.11ax), подключаемых к ИТС каналами связи со скоростью 2,5 и, особенно, 5 Гбит/с. Определённое стимулирующее воздействие на объёмы потребления этой техники оказывают активные консолидационные

точки, up-link-интерфейс которых работает на скоростях как минимум 10 Гбит/с [4]. Схема пользовательского уровня ИТС с активной консолидационной точкой показана на рис. 4, а реализующие её структуры начинают активно внедряться в проекты за рубежом из-за возможности существенного снижения затрат по сравнению с классической СКС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Малая проектная популярность техники СКС категорий 7 и 7а в проектах построения СКС офисного назначения в России объективна и определяется её функциональной избыточностью для наиболее востребованных на практике задач информационной поддержки.

2. Техника СКС категорий 7 и 7а, несмотря на историческую ориентацию отечественного рынка на американские решения, имеет определённые перспективы к росту объёмов применения в результате эволюционной перестройки информационных систем.

3. Главным драйвером роста объёмов применения техники категорий 7 и 7а на ближайшую перспективу становятся системы интеллектуального управления светодиодным освещением умных домов и, отчасти, точки доступа Wi-Fi, а также активные консолидационные точки на пользовательском уровне информационных систем.

4. Неудобство текущей эксплуатации техники категорий 7 и 7а частично компенсируется применением разборных розеточных модулей, позволяющих менять тип интерфейса прямо на объекте без выполнения монтажных работ. ■

Список источников

1. Семёнов А.Б. 25G Ethernet и структурированная проводка // Журнал сетевых решений LAN. – 2018. – № 2. – С. 44.
2. Семёнов А.Б. Как технология PoE меняет подходы к построению и эксплуатации СКС // Вестник связи. – 2021. – № 8. – С. 24–28.
3. Семёнов А.Б. Влияние повышенной температуры на предельную протяжённость «витопарных» трактов СКС // Первая миля. – 2022. – № 1 (101). – С. 14–19.
4. Чельшков П.Д., Семёнов А.Б. Влияние «умного» города на телекоммуникации // Вестник связи. – 2019. – № 2. – С. 4–7.
5. Семёнов А.Б. Активная консолидационная точка для офисных информационных систем // Вестник связи. – 2020. – № 8. – С. 20–24.

List of References

1. A.B. Semenov 25G Ethernet and structured wiring // Journal of LAN network solutions. – 2018. – № 2. – P. 44.
2. A.B. Semenov How the PoE technology changes the approaches to SCS construction and operation // Bulletin of Communications. – 2021. – № 8. – P. 24–28.
3. A.B. Semenov Influence of high temperature on the maximum length of SCS twisted-pair cable runs // First mile. – 2022. – № 1 (101). – P. 14–19.
4. P.D. Chelyshkov, A.B. Semenov Influence of “smart” city on telecommunications // Bulletin of Communications. – 2019. – № 2. – P. 4–7.
5. A.B. Semenov Active consolidation point for office information systems // Bulletin of Communications. – 2020. – № 8. – P. 20–24.