

WHITE PAPER

ТЕХНОЛОГИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ПИТАНИЯ ПО ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫМ КАБЕЛЬНЫМ ТРАКТАМ ИЗ ВИТЫХ ПАР

АНДРЕЙ СЕМЕНОВ
ГОРДЕЙ БАБАЕВСКИЙ

EUROLAN
— C O N N E C T I T —

Solution Eurolan Europe AB 2006—2019

СОВРЕМЕННЫЕ ИТ СИСТЕМЫ

Современные объекты недвижимости гражданского и специального строительства обязательно оборудуются информационно-телекоммуникационными системами (ИТС), которые становятся де-факто таким же обязательным инфраструктурным компонентом, как водопровод, канализация, освещение и аналогичные им.

В последнее время некоторые базовые принципы построения ИТС испытывают серьезные трансформации качественного характера. Главные из них заключаются в следующем.

- Наряду с традиционными ЛВС и внутренней телефонной сетью в их состав включаются системы видеонаблюдения, контроля доступа, управления освещением, кондиционированием и иными системами инженерного обеспечения объекта недвижимости;
- традиционные, а также вновь вводимые системы ИТС реализуются на единой технологической платформе, в основу которой положена коммутация и маршрутизация IP-трафика.

ИТС строятся на базе оправдавшей себя многоуровневой модели открытых систем. Функции реализации физического уровня ИТС в целом в соответствии с требованиями профильных стандартов выполняет структурированная кабельная система. Действующие нормативные документы исходят из единых принципов, а учет основных особенностей конкретного объекта недвижимости выполняется преимущественно такими проектными мероприятиями, как

- введение дополнительных подсистем,
- задание норм в части конфигурации пользовательских информационных розеток,
- вариации допустимых схем формирования стационарных линий и аналогичными им.

При этом вне зависимости от области применения техники структурированного каблирования в части применения сред передачи фактически на уровне стандарта де-факто используется следующий подход:

- на основе электропроводных линий на кабелях из витых пар строится нижний уровень кабельной системы, который формирует пользовательский интерфейс и к которому подключаются различные терминальные приборы;
- волоконно-оптическая техника доминирует на магистральных уровнях проводки, где в полной мере сказываются ее преимущества в области «высокоскоростной дальности».

КАБЕЛЬ ИЗ ВИТЫХ ПАР КАК МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ИЗДЕЛИЕ

ИТС требует для своей реализации существенных капитальных затрат. В таких условиях стремление автора проекта к финансовой экономии на ее реализации вполне обоснованно. Роль физического уровня в процессе стоимостной оптимизации заметно повысилась в последние годы. Это связано:

- с ростом количества отдельных систем, образующих ИТС, и, соответственно, числа обслуживающих их кабельных линий;
- относительным удорожанием информационной проводки из-за многократного роста стоимости меди и нефти как основного сырья для производства кабельных изделий.

Последнее отчетливо ощущается на фоне быстрого удешевления активного сетевого оборудования, определяемого снижением цен на микроэлектронные компоненты.

На практике применяется целый комплекс подходов, позволяющих добиться ощутимой экономии на проектной стоимости СКС. К таковым относятся:

- рационализация распределения пользовательских информационных розеток с учетом фактической плотности размещения терминальных устройств ИТС (проектная оптимизация);
- частичный возврат в практику построения информационных систем шинных структур;
- применение различных видов мультиплексирования на пользовательском уровне;
- введение таких вариантов построения кабельной системы, как зонная проводка открытых офисов, а также трактов прямого соединения и прямого подключения (direct connection).

Одним из приемов этой разновидности стало увеличение количества функций, выполняемых кабелем: наряду с передачей информационных сигналов его можно использовать для дистанционного питания (ДП) терминального устройства. Применительно к СКС на эту роль вполне подходят кабели из витых пар. Волоконно-оптическая техника в этой роли далее не рассматривается, т. к. мощность источника постоянного напряжения, получающего питание по волоконным световодам, не превышает единиц милливатт. Это значение на три порядка ниже мощности потребления типовых терминальных приборов и не соответствует потребностям ИТС массового применения.

Технология организации ДП по кабелям из витых пар обычно называется PoE (от англ. Power over Ethernet). Наряду с PoE известны также PoE+, PoE++, которые отличаются от исходного преимущественно максимально допустимой мощностью приемника.

ОСОБЕННОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ПИТАНИЯ ПО МЕДНОЖИЛЬНЫМ КАБЕЛЬНЫМ ТРАКТАМ СКС

Идея ДП терминального оборудования по электропроводным кабельным линиям не является чем-то новым. Этот технический прием

- применялся ранее на линиях междугородной телефонной связи, построенных на коаксиальных кабелях;
- массово используется в современных информационных системах для обеспечения работоспособности датчиков различных физических величин.

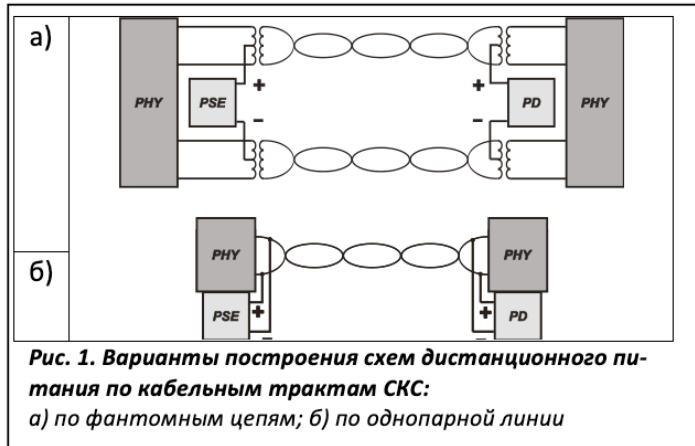
На область ИТС объектов недвижимости накопленный ранее опыт и реализующие его технические решения распространяются с учетом специфики витопарных кабельных трактов СКС. При разработке соответствующей техники учитывается следующее.

- Тракты горизонтальной подсистемы офисной СКС и ее аналоги в других областях строятся на 4-парных кабелях.
- Норма в отношении минимальной категории электропроводной подсистемы СКС в настоящее время определяется уровнем 5е.
- Параметры витых пар в части т. н. шлейфового сопротивления (англ. direct current loop resistance)¹ задаются стандартами.
- Требование действующих норм по части электробезопасности фактически ограничивает максимальную величину выходного напряжения источника значением 60 В.

Известны два способа подачи напряжения ДП от централизованного устройства на удаленный терминальный прибор. Наибольшее распространение получила т. н. фантомная схема, *Рис. 1а*. Суть этого приема заключается в том, что для построения цепи передачи питающего тока в качестве прямого и обратного проводов используются витые пары целиком. Обращение к фантомной схеме дает следующие преимущества:

¹ Кабель в рабочем положении имеет достаточно большую длину, и одновременный доступ к его концам физически затруднен. С учетом этой особенности для измерения сопротивления постоянному току удобно замкнуть концы проводов витой пары на дальнем конце и подключить омметр к другим концам ближнего конца (измерение “по шлейфу”).

- двукратное снижение сопротивления за счет параллельного соединения проводов витой пары для питающего тока;
- увеличение эффективности разделения цепей передачи информационных сигналов и ДП за счет подключения полюсов источника PST и приемника PD системы ДП к средней точке трансформаторов гальванической развязки.



Нормируемая стандартами СКС 4-парная структура горизонтального кабеля, через который осуществляется подключение терминальных устройств, при построении системы ДП учитывается двумя способами:

- как средство наращивания максимальной мощности питаемого устройства за счет удвоения количества фантазных цепей при возникновении такой необходимости;
- использованием для передачи тока ДП свободных пар при 2-парной схеме организации связи на скоростях 10 и 100 Мбит/с.

Сам источник ДП может быть построен по двум основным принципам. Согласно первому из них он выполняется в форме отдельного блока, который включается между выходом коммутатора уровня рабочей группы и панелью СКС. С точки зрения последней это означает применение в техническом помещении схемы кроссконнекта построения коммутационного поля, *Рис. 2а*.



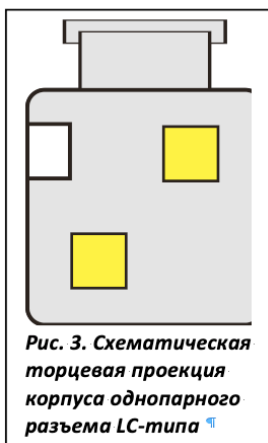
Вторая схема предполагает выполнение источника ДП в форме внутреннего дополнительного модуля коммутатора. Это позволяет сохранить в технических помещениях ИТС наиболее распространенную схему интерконнекта, *Рис. 2б*. Источник ДП отличается довольно высокой стоимостью. Для обеспечения возможности стоимостной оптимизации проекта он может быть выполнен в двух вариантах. Согласно первому из них он представляет собой сменное бескорпусное устройство, устанавливаемое в коммутатор при возникновении такой необходимости. Второй подход – предложение двух идентичных коммутаторов, отличающихся только наличием этого дополнительного блока. За счет большего удобства вторая схема практически полностью вытеснила свой выделенный функциональный аналог из практики построения ИТС.

ДИСТАНЦИОННОЕ ПИТАНИЕ PoE для ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Информационная кабельная проводка для интернета вещей (Internet of Thing – IoT) отличается от традиционной применением однопарного кабеля. Такой подход к построению линейной части:

- позволяет заметно улучшить массогабаритные характеристики кабелей и снизить нагрузку на кабельные трассы;
- требует существенной модернизации многих компонентов, непосредственно взаимодействующих с кабелем или использующих его для выполнения своих функций.

Последнее касается конструкции однопарной вилки (пример ее исполнения приведен на Рис. 3), приемопередатчиков сетевых интерфейсов.



Применительно к схеме дистанционного питания PoE модернизация обязательна в связи с необходимостью отказа от фантомной схемы, неприменимой из-за физического отсутствия требуемого количества цепей передачи. Разницу в подходах демонстрирует Рис. 16. При построении соответствующей аппаратуры учитывается:

- заметно меньшая мощность потребления терминальных устройств IoT и типовые скорости 10... 100 Мбит/с на этом уровне, что заметно облегчает построение схем развязки цепей передачи тока ДП и информационных сигналов;
- многообразии номиналов питающих напряжений типовых терминальных устройств IoT.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ДП И ТИПОВЫЕ СЕРВИСНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ

Интересы владельцев и пользователей ИТС в части защиты инвестиций в систему ДП обеспечиваются соответствующей стандартизацией. В отношении систем, рассчитанных на 4-парные кабельные тракты, действуют стандарты IEEE 802.3af, IEEE 802.3at и IEEE 802.3bt, известные также как PoE, PoE+ и PoE++ соответственно. Для техники IEEE 802.3bt может использоваться также альтернативное обозначение 4PPoE. Основные параметры оборудования приведены в Таблица 1. Отметим, что источники и приемники IEEE 802.3bt изначально адаптированы для применения в системах 2,5GBase-T, 5GBase-T и 10G Base-T.

Источник PSE перед подключением к приемнику PD выполняет специальную процедуру по определению готовности терминального устройства к работе в режиме ДП и фактической мощности потребления, после чего осуществляет соответствующую настройку своих цепей. Для этого привлекается подход, уже несколько десятков лет применяемый в телефонии и основанный на контроле изменения тока, протекающего через калиброванный 25-килоомный резистор.

Таблица 1. Параметры систем ДП PoE, PoE+ и PoE++

Параметр	PoE	PoE+	PoE++, Type 3	PoE++, Type 4
Стандарт	IEEE 802.3af	IEEE 802.3at	IEEE 802.3bt	
Год принятия	2003	2009	2018	
Максимальная мощность источника PSE, Вт	15,40	30,0	60,0	100,0
Максимальная мощность приемника PD, Вт	12,95	25,50	51,0	71,0
Выходное напряжение источника PSE, В	44,0 – 57,0	50,0 – 57,0	50,0 – 57,0	52,0 – 57,0
Входное напряжение приемника, В	37,0 – 57,0	42,5 – 57,0	42,5 – 57,0	41,1 – 57,0
Максимальный ток, мА	350	600	600	960
Категория кабелей	3 и выше	5е и выше	5е и выше	5е и выше
Шлейфовое сопротивление пары, Ом, не более	40	25	25	25
Количество используемых пар	2	2	2	4

Стандартами на ДП по кабельным трактам Ethernet предусмотрена развитая система защиты от перегрузки. В случае обнаружения нештатного режима функционирования источник автоматически перестает подавать питающее напряжение с задержкой не свыше 300 мс.

С целью рационального использования ресурсов источника питания стандартами группы PoE предусмотрена система классов мощности (Таблица 2). Превышение разрешенного максимума на протяжении 75 мс, равно как и падение потребления тока ниже 5 мА или прекращение его потребления на протяжении свыше 400 мс рассматривается как авария с выполнением соответствующих процедур прекращения подачи на питаемое устройство напряжения ДП.

Таблица 2. Зависимость мощности питаемого устройства от класса PoE

Класс	0	1	2	3	4	5	6	7	8	8+
Мощность потребления, Вт	0,44...12,95	0,44...3,94	3,84...6,49	6,49...12,95	12,95...25,50	40,00	51,00	62,00	71,30	99,90

В части однопарного Ethernet необходимые технические параметры системы ДП нормированы стандартом IEEE 802.3bu (т. н. Power over Data Lines). С учетом областей применения техники интернета вещей номинальное напряжение может равняться 12, 24 и 48 В. Вводятся также дополнительные классы по питанию. Максимальная мощность питаемого устройства – 50 Вт (48 В, класс 9).

Широкая популярность применения техники ДП в проектах построения ИТС привела не только к массовому ее предложению, но и к внедрению разнообразных сервисных опций. Основные из этих предложений заключаются в следующем.

1. Мощность источника PSE обычно несколько меньше суммарной мощности всех возможных терминальных устройств при их функционировании в режиме максимальной нагрузки. С учетом этой особенности система управления источником предусматривает реализацию ранжирования потребителей по степени их важности и в случае перегрузки последовательно отключает те из них, которые имеют наименьший приоритет.
2. Наряду со стандартными схемами ДП существуют также более или менее распространенные частные фирменные предложения этой разновидности.

Среди последних наиболее известно 4-парное решение компании Cisco, созданное в 2014 году и продвигаемое под фирменным наименованием UPOE (от англ. Universal Power over Ethernet). Оно обеспечивает ДП устройств с максимальной мощностью 60 Вт.

Эта и аналогичная ей техника не демонстрирует существенных преимуществ по сравнению со стандартной, что определило сравнительно малое ее распространение.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГРУППЫ PoE

Для организации кабельных трактов, поддерживающих ДП различных терминальных устройств, могут быть использованы только кабели с медными жилами, соответствующими

ГОСТ Р 54429-2011. Обращение к более дешевой продукции, жилы витых пар которой имеют биметаллическое исполнение (омедненный алюминий или омедненная сталь), недопустимо из-за более высокого сопротивления постоянному току и повышенного переходного сопротивления IDC-контакта в точке его взаимодействия с жилой. Это не позволяет гарантировать максимальную протяженность тракта, а также его надежную работоспособность на протяжении длительного времени.

Элементная база СКС Eurolan полностью отвечает требованиям стандартов IEC 60512-99-001:2012 «Соединители для электронной аппаратуры. Испытания и измерения. Часть 99-001. Схема испытаний для замыкания и размыкания соединителей под электрической нагрузкой. Испытание 99а. Соединители, используемые в кабелях связи с витой парой и удаленным питанием» и IEC 60512-99-002:2019 «Соединители для электронной аппаратуры. Испытания и измерения. Часть 99-002. Схемы испытаний на долговечность. Испытание 99b. Схема испытаний на расчленение соединителя под электрической нагрузкой». Эти стандарты применяются при тестировании разъемов в рамках SC 48B, которые используются в кабелях связи из витых пар с дистанционным питанием, таких как ISO/IEC 11801 класса D и выше, симметричные кабели парной скрутки для поддержки IEEE 802.3af, 802.3at, 802.3bt. Необходимо обратить внимание на важность соответствия данным стандартам, поскольку по сути в этих документах описан порядок испытания коммутационного оборудования СКС на соответствие системам с дистанционным питанием стандартов IEEE 802.3at, 802.3at, 802.3bt; PoE и PoE+ до 100 Вт, 2 А – что означает ее полную совместимость с техникой ДП как на уровне отдельных компонентов, так и уровне стационарных линий и трактов.

Стандарты группы PoE рассчитываются на наиболее жесткие условия в части элементной базы и конфигурации кабельных трактов. Фактически это означает, что нормирование техники выполняется на основе характеристик элементной базы категории 5е. При повышении категории снижается шлейфовое сопротивление витых пар кабеля, что позволяет уменьшить мощность потерь или нарастить предельную протяженность тракта с сохранением работоспособности оборудования ДП.

Ограничения на максимальную протяженность тракта L_{max} , реализованного с использованием кабелей более высоких категорий, определяемые системой ДП, можно оценить следующим образом:

$$L_{max} = 100 \left(\frac{d}{0,51} \right)^2 \text{ м,}$$

где d – диаметр жилы витой пары.

Данная консервативная оценка показывает, что, например, при применении кабелей категории 6, для которых $d = 0,55$ мм, обеспечивается $L_{max} = 120$ м. Это соответствует 20-процентному выигрышу по протяженности тракта.

Известно, что активное сопротивление постоянному току (параметр, прямо определяющий шлейфовое сопротивление, т. е. критически важный для техники ДП) линейно увеличивается с ростом температуры. Темп роста сопротивления определяется стандартом ISO/IEC 11801 и зависит от разновидности элементной базы. Для U/UTP-техники он составляет 0,4 %/°C в интервале 20...40 °C, увеличиваясь до 0,6 %/°C в интервале 40...60 °C, тогда как при переходе на экранированное исполнение этот коэффициент уменьшается до 0,2 %/°C. Несложный расчет показывает, что при нагреве U/UTP-кабеля до 60 °C максимальная протяженность тракта сократится на $0,4 \text{ \%}/^{\circ}\text{C} \times 20 \text{ }^{\circ}\text{C} + 0,6 \text{ \%}/^{\circ}\text{C} \times 20 \text{ }^{\circ}\text{C} = 20 \text{ \%}$. Для экранированного кабеля это сокращение составит $0,2 \text{ \%}/^{\circ}\text{C} \times 40 \text{ }^{\circ}\text{C} = 8 \text{ \%}$. Отсюда прямо вытекает выгода применения экранированной техники при реализации ИТС в областях со сложными температурными условиями.

В настоящее время промышленностью активно ведутся работы по увеличению максимальной рабочей температуры линейных кабелей до 70 °C. Применение такой продукции выгодно тем, что позволяет увеличить как количество кабелей в пучке, так и плотность их упаковки, что заметно экономит емкость кабельных трасс.

ТЕХНИКА ДП КАК СРЕДСТВО УВЕЛИЧЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ СВЯЗИ И ФОРМИРОВАНИЯ ШИННЫХ СТРУКТУР

В открытой продаже широко представлено разнообразное оборудование ЛВС с питанием по PoE. Его применение позволяет:

- увеличивать предельную протяженность линии связи без перехода на волоконно-оптическую технику (пример такой структуры показан на *Рис. 4*);
- формировать шинные структуры, хорошо востребованные в ряде проектов.



Рис. 4. Использование промежуточных устройств с ДП для наращивания предельной протяженности тракта передачи

Необходимым условием реализации последней опции является использование в составе этой части ИТС питаемых по PoE многопортовых коммутаторов. Ее применение выгодно в тех случаях, когда ИТС включает в себя системы контроля доступа, видеонаблюдения, управления многочисленными инженерными системами здания и аналогичными им. В случае необходимости простого увеличения дальности связи достаточно простого PoE-репитера.

РЕАЛИЗАЦИЯ КАБЕЛЬНЫХ ТРАСС ПРИ ВЫСОКОЙ МОЩНОСТИ ТЕРМИНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С POE

Ток ДП, протекающий по витым парам, из-за конечного сопротивления дополнительно нагревает токопроводящие цепи. При относительно невысокой мощности терминального оборудования, характерной для 2-парной схемы организации ДП, этот нагрев незначителен (температура растет максимум на 5 °С относительно окружающей среды) и его можно не принимать во внимание при проектировании ИТС.

Ситуация с дополнительным нагревом радикально меняется при переходе на 4-парную схему подачи ДП, которая соответствует классам 7 и выше. С учетом перспектив ожидаемого внедрения этой техники в сочетании с длительным сроком эксплуатации информационной кабельной системы данную особенность необходимо учитывать уже на стадии проектирования СКС.

Техника объектовых ИТС рассчитывается на максимальную температуру 45 °С, которая может рассматриваться как предельная для области эксплуатации СКС. Отсюда, с учетом допустимой температуры кабеля 60 °С, любой из них может дополнительно нагреваться максимум на 15 °С.

Кабели СКС обычно прокладываются жгутами². Тепло, выделяющееся при протекании тока ДТ на кабелях, рассеивается в окружающую среду за счет диффузии. Таким образом, с точки зрения нагрева критичнее других центральный кабель жгута, наиболее изолированный от его поверхности. Отсюда немедленно вытекают следующие методы выполнения норм по предельной температуре центрального кабеля:

- ограничение количества изделий в жгуте;
- укладка кабелей в канал со скрещиванием для увеличения эффективности «съема» тепла воздушным потоком;

² Более экономичная в смысле использования емкости кабельной трассы пакетная укладка эффективна только применительно к магистральным кабелям большого диаметра и при реализации горизонтальной подсистемы современных ИТС, как правило, не применяется из-за сложности реализации.

- обращение к воздушной или квазивоздушной (в хорошо вентилируемых кабельных каналах, например, перфорированных или сетчатых лотках) прокладке кабелей;
- применение кабелей с повышенной до 75 °С максимальной рабочей температурой.

Таблица 3. Зависимость максимального расчетного увеличения температуры центрального кабеля от количества U/UTP-кабелей различных категорий в регулярном жгуте при максимальной мощности ДП системы PoE++ (ток 1 А)

Число кабелей в жгуте	Количество слоев	Кабель с жилами 26AWG		Категория 5e		Категория 6		Категория 6a	
		Воздух	Канал	Воздух	Канал	Воздух	Канал	Воздух	Канал
1	1	1,9	3,1	1,1	1,7	0,8	1,3	0,7	1,1
7	2	5,7	9,1	3,5	5,2	2,6	4,0	2,3	3,3
19	3	10,5	16,5	6,7	9,7	5,1	7,4	4,4	6,1
37	4	16,2	25,5	10,7	15,2	8,2	11,6	7,0	9,5
61	5	22,7	34,9	15,5	21,6	12,0	16,6	10,1	13,4
91	6	30,1	45,9	21,0	29,0	16,4	22,2	13,8	17,9
127	7	38,4	58,1	27,3	37,4	21,4	28,6	17,9	23,0
169	8	47,6	71,5	34,3	46,6	27,1	35,7	22,6	28,6

По состоянию на 2019 год «высокотемпературные» кабели СКС известны только в опытных образцах, т. е. их применение в массовой практике реализации ИТС невыгодно из-за высокой цены и длительных сроков поставки. Поэтому наиболее простым средством достижения нужного результата является ограничение числа кабелей в жгуте.

Соответствующие данные по расчету размеров жгута приведены в *Таблица 3*.

При переходе на экранированные конструкции количество рядов в пучке может быть увеличено на единицу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Технология PoE потенциально обеспечивает функционирование подавляющего большинства современных терминальных устройств за исключением рабочих станций ЛВС.
2. В случае высокой вероятности применения в обозримой перспективе для построения информационной системы терминального оборудования с мощностью 50 Вт и более для построения кабельной системы следует использовать кабели категории не ниже 6.
3. Основные средства обеспечения нужной эксплуатационной температуры кабелей при высокой мощности терминального оборудования – ограничение количества кабелей в жгуте и применение хорошо вентилируемых каналов.
4. В случае эксплуатации кабельной системы при повышенной температуре предпочтительно построение линейной части информационной проводки на экранированной технике.
5. Технология PoE позволяет в разы увеличить предельную протяженность линии связи на основе симметричного кабеля, а также формировать шинные структуры.

ШВЕЦИЯ, HEADQUARTER

Johannesfredsvagen 12, SE-168 69 Bromma

E-mail: info@eurolan.se

Тел.: +46 8 41047980

Факс: +46 8 7510080

Sjotullsgatan 9, SE-824 50 Hudiksvall

E-mail: hans.fredlund@eurolan.se

Тел.: +46 70 237 8377

РОССИЯ

115193, г. Москва,

7-я Кожуховская ул., дом 15, строение 1

E-mail: moscow@eurolan.com

Тел.: +7 495 252-07-99

ПОЛЬША

Sabaly 43, 02-174 Warszawa

E-mail: adrian.poborski@eurolan.se

Тел.: +48 508 340 226

ФИНЛЯНДИЯ

Asiakkaankatu 3, FI-00930 Helsinki

E-mail: tero.huotari@eurolan.se

Тел.: +358 40 024 1100