

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ КОММУНИКАЦИОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Стимулирование преобразования интеллектуальных энергосистем на основе пакетно-оптических сетей Ethernet

## Введение

По мере перехода электроэнергетических компаний к интеллектуальным энергосистемам все острее ощущается необходимость сопоставимого развития базовых коммуникационных сетей. Гибкая сеть, отвечающая требованиям завтрашнего дня, имеет критическое значение для удовлетворения бизнес-целей коммунальных предприятий. Именно она способна обеспечить надежную и безопасную работу приложений интеллектуальной энергосистемы. Тем не менее, большая часть инженерных сетей сегодня справиться с этой задачей неспособна. Некоторые приложения сетей следующего поколения при этом слишком дорогостоящи и громоздки для крупномасштабного развертывания.

Интеллектуальной энергосистеме необходима передовая сеть, способная:

- обеспечить важнейшие услуги передачи речи и данных для операций и управления в рамках энергосистемы;
- удовлетворить возросшие требования к производительности, полосе пропускания, безопасности, консолидации и поддержке устаревших приложений;

→ повысить гибкость, надежность, безопасность и эффективность всех элементов интеллектуальной энергосистемы;

→ реализовать мониторинг, автоматизацию и оптимизацию операций в среде энергосистемы.

Обслуживать современные инженерные сети на базе технологии SONET/SDH очень сложно и дорого, они не отвечают долгосрочным требованиям интеллектуальных энергосистем. Кроме того, многим предприятиям в будущем потребуется заменить наложенные сети, развернутые для поддержки устаревших устройств и обеспечения определенных требований к ИТ и операциям.

Дальнейшие инвестиции в эти устаревшие сети нецелесообразны с учетом необходимости перехода к интеллектуальным энергосистемам. Вместо этого предприятиям следует рассмотреть варианты развертывания сетей следующего поколения, которые помогли бы им и их клиентам в полной мере реализовать преимущества интеллектуальной энергосистемы (см. рис. 1).

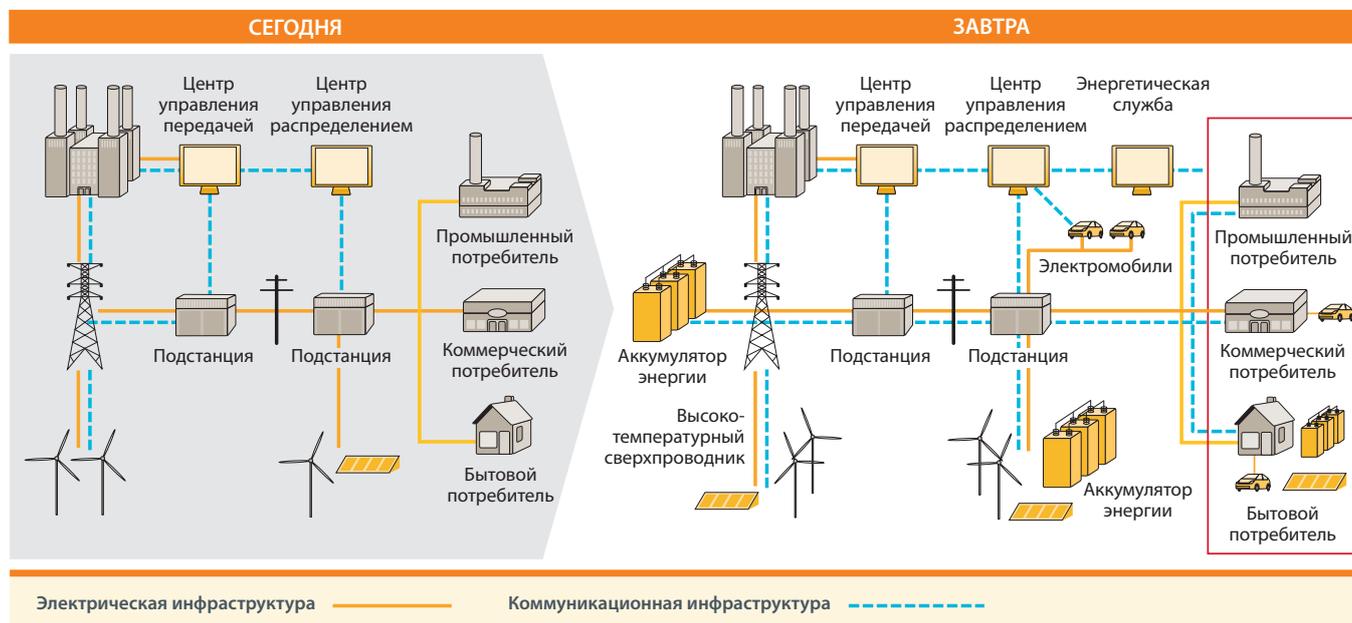


Рисунок 1. В интеллектуальной электросети сеть обеспечивает коммуникации между системами на всех уровнях, как в системе и ИТ-инфраструктуре коммунального предприятия, так и на внешнем уровне с клиентами

## Поддержка ключевых коммуникаций интеллектуальной энергосистемы

Коммуникационная сеть, оптимизированная для интеллектуальной энергосистемы, должна поддерживать ряд функций, таких как:

- агрегирование и доставка данных со счетчиков клиентов в центр управления для программ управления содержимым счетчиков и считывания данных в реальном или близком к реальному времени;
- подключение оборудования автоматизации и интеллектуальных электронных устройств, используемых в системах оптимизации и при управлении энергосистемой;
- доставка важнейших чувствительных к задержкам данных подстанций для программ мониторинга и диагностики, повышающих надежность энергосистемы.

## Альтернативные решения архитектуры коммуникационной сети

Для модернизации устаревших сетей зачастую используются сети IP/MPLS. Многие предприятия попросту не знают, что существуют и другие варианты планирования сети следующего поколения. Поскольку другие корпоративные сети основаны на IP, по умолчанию предполагается, что единственным возможным решением являются развертывание работающей по принципу «лучшее из возможного» IP-сети на базе маршрутизаторов с услугами многопротокольной коммутации по меткам (MPLS).

Сегодня многие операторы важнейших сетей по всему миру переходят к детерминированным пакетно-оптическим технологиям. ИТ-специалисты некоторых коммунальных предприятий не рассматривают пакетно-оптические решения по причине ошибочного представления о их архитектуре и возможностях по сравнению с сетями с маршрутизацией.

В частности, считается, что в условиях перехода всех сетевых услуг на IP оптимально было бы маршрутизировать весь трафик. Но в инженерных сетях используется трафик и другого типа. При работе с трафиком различных типов пакетно-оптическая коммутация, как правило, более эффективна. Хотя уровень служб и использует IP-адресацию, еще более усложнять транспортный уровень средствами IP-маршрутизации необходимости нет.

Кроме того, протокол IP сам по себе не предусматривает установку соединений, что затрудняет точную обработку важнейшего трафика. Хотя эту задачу можно несколько упростить, используя инструменты для обработки IP-трафика, сложность сетевых операций при этом возрастет.

Маршрутизация, конечно же, играет важную роль, но ее повсеместное использование в среде сети необоснованно повышает сложность и стоимость обслуживания всей среды в целом. Например, необходимость ручного конфигурирования отдельных маршрутизаторов способствует линейному росту эксплуатационных расходов с добавлением каждого нового устройства. Гораздо проще и дешевле было бы коммутировать трафик данных на исключительно надежном и детерминированном низком транспортном уровне.

Второе заблуждение заключается в том, что IP-маршрутизация снижает затраты и упрощает общую архитектуру сети за счет устранения низких уровней сети (Y0, Y1, Y2). На самом деле от нижних уровней отказываться нежелательно: они способны повысить доступность и эффективность сети, а также распределить немаршрутизируемый трафик, генерируемый некоторыми коммунальными объектами.

Конечная цель пакетно-оптической коммутации заключается в обеспечении большей масштабируемости и отказоустойчивости сети по более низкой (по сравнению с сетями маршрутизации) цене за бит.

## Пакетно-оптическая сеть: принципы работы

Архитектура пакетно-оптической сети включает гибкий оптический уровень на базе уровня 0 DWDM (мультиплексирование с разделением по длине волны), уровень 1 оптической транспортной сети (OTN) и уровень 2 пакетной передачи Ethernet операторского класса. Эта архитектура позволяет доставлять трафик приложений в качестве длин волн, временных интервалов или пакетов с использованием наиболее экономичного уровня сети.

Пакетно-оптическая коммутация фактически конвергирует все транспортные элементы на единой платформе, работающей на уровнях 0–2.5. IP-маршрутизатор при этом работает только на уровне 3. Не весь трафик использует IP-маршрутизацию. Многие сетевые услуги могут эффективно использовать коммутацию более низкого уровня, как показано на рис. 2.

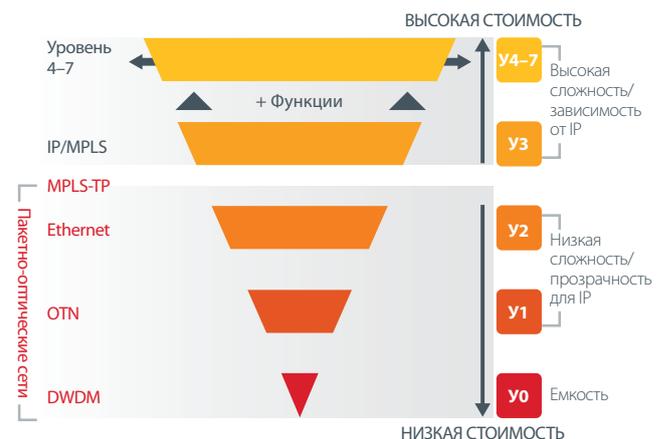


Рисунок 2. Пакетно-оптическая технология работает на уровнях 0–2.5 для экономичной обработки различных типов сетевого трафика

Еще одно преимущество нижних уровней заключается в обеспечении ориентированного на соединения пакетного транспорта вместо IP-транспорта без установки соединений. Ориентированный на соединения транспорт — использующий длины волн, соединения OTN или туннели Ethernet — обладает детерминированными характеристиками для распределения полосы пропускания, поиска маршрута в сети и проведения комплексных измерений. Такой подход позволяет сильно упростить операции пакетного транспорта (в частности, при устранении неисправностей, обслуживании и формировании трафика), а также повысить их прогнозируемость.

Используя нижние уровни, сеть может специализировать решения для различных эксплуатационных сценариев. Например, в одном из сценариев уровни отделены, используются подстанционные кольца Ethernet операторского класса уровня 2 (см. рис. 3).

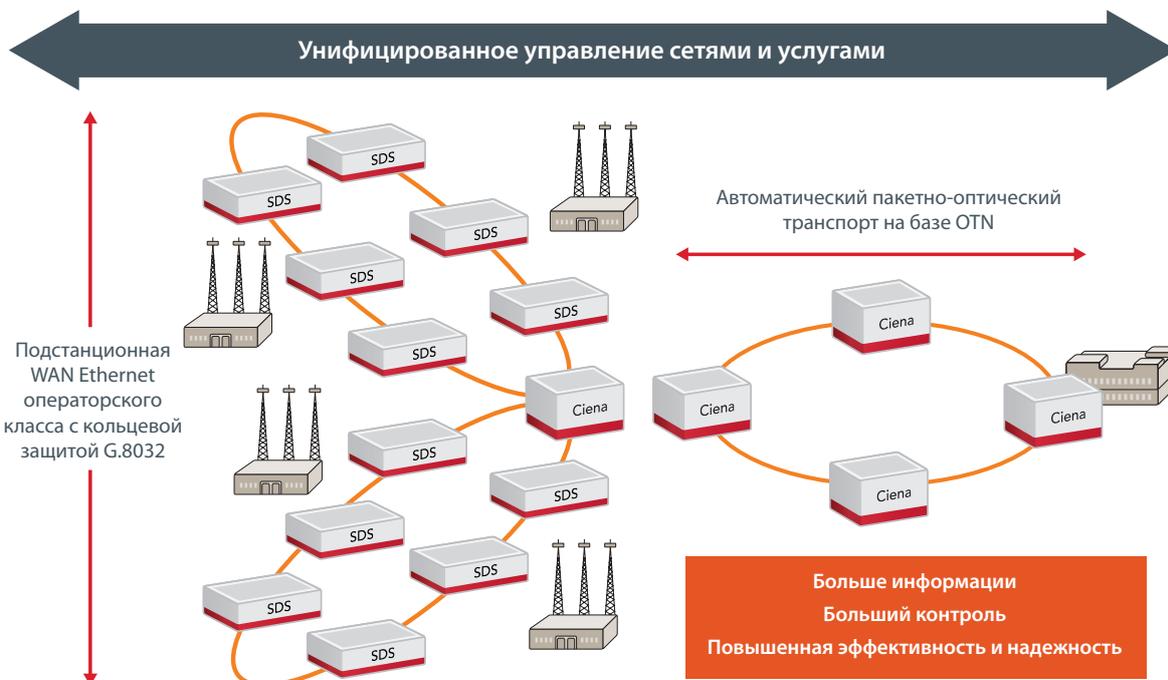


Рисунок 3. Архитектура сети агрегирования подстанции на основе Ethernet операторского класса, взаимодействующая с опорной пакетно-транспортной сетью на базе OTN

Также этот сценарий использует конвергентную пакетно-оптическую опорную сеть, которая передает как подстанционный трафик Ethernet, так и другие протоколы (например, данные хранилищ Fibre Channel) между ЦОД предприятия.

Еще один сценарий заключается в расширении конвергентной пакетно-оптической сети до подстанций для передачи пакетного трафика IP и Ethernet вместе с каналами TDM (временное мультиплексирование). В обоих случаях подход на основе совмещения и сопоставления пакетно-оптических технологий позволяет создать сеть, агрегирующую и коммутирующую трафик на самых эффективных и экономичных уровнях подстанции и опорных сетей.

### Программируемая оптическая полоса пропускания с OTN

OTN — универсальная технология оптического транспорта, способная заменить дорогостоящие транспортные сети SONET/SDH с ограниченным функционалом. Будучи технологией уровня 1, OTN эффективно, экономично и надежно передает в среде оптических транспортных систем множественные услуги. OTN позволяет подготовить сеть к непостоянным требованиям трафика за счет программируемой полосы пропускания.

OTN предусматривает три ключевые функции для программируемой полосы пропускания на уровне WDM: обеспечение контейнеров с поддержкой любого протокола, эффективное совместное использование длин волн и коммутация/оптимизация трафика в среде сети. Вместе эти функции повышают программируемость полосы пропускания уровня WDM в отношении формата, размера и маршрутизации различных типов трафика.

SONET/SDH и OTN сопоставляют протоколы с контейнерами трафика. В сети SONET/SDH эти контейнеры имеют одинаковый

размер, но не всегда заполняются данными, что снижает эффективность транспортной системы.

В OTN эти контейнеры могут передавать любой протокол данных в любой комбинации. Размер контейнеров при этом соответствует требованиям трафика и транспорта (см. рис. 4). Программируемость OTN повышает общую эффективность сети. По мере масштабирования коммунальных сетей с увеличением объемов данных OTN может передавать полосы пропускания очень большого объема.

Также OTN поддерживает простое и безопасное отделение трафика важнейших операций энергосистемы от корпоративного и ИТ-трафика в среде одной волоконной сети.

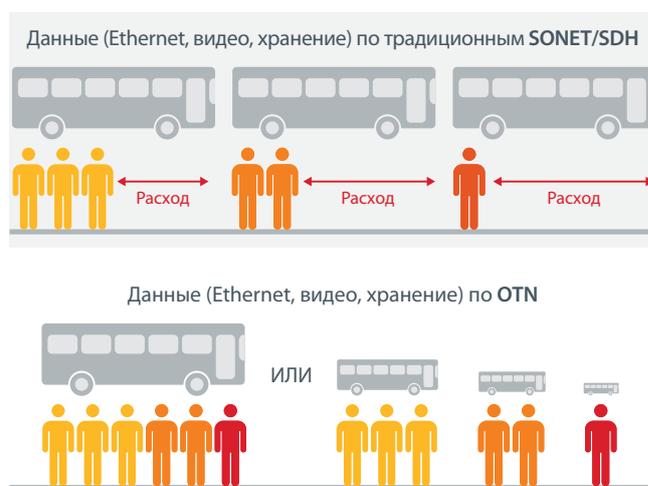


Рисунок 4. Программируемость OTN позволяет использовать полосу пропускания более эффективно

## Принципы работы Ethernet операторского класса

Ethernet операторского класса — это коммуникационная технология уровня 2 в пакетно-оптической сети. Она реализует в требовательных глобальных сетях (WAN) все преимущества Ethernet традиционной локальной сети (LAN), среди которых повсеместное распространение, крайне низкая стоимость, простота, скорость и надежность. Это позволяет обеспечить надежность, управляемость и прогнозируемость, характерные для обычных решений для коммунальных предприятий.

Ethernet операторского класса определяется пятью значимыми техническими характеристиками, несвойственными Ethernet LAN: стандартизированные услуги, масштабируемость, надежность, качество обслуживания (QoS) и управление услугами. Эти атрибуты имитируют роль Ethernet в среде LAN, но при этом преобразовывают Ethernet операторского класса в технологию, подходящую для развертывания в глобальной сети. Ethernet операторского класса работает с IP в WAN так же, как Ethernet взаимодействует с IP в корпоративной LAN.

Ethernet операторского класса совершенствует распределительные и подстанционные сети за счет поддержки IP-приложений и новых IED на базе Ethernet. Кроме того, эта технология решает проблемы, связанные с задержками и безопасностью уровня 3.

Вот почему Ethernet операторского класса позволяет коммунальным предприятиям контролировать затраты и вести эффективное масштабирование бизнес-процессов, вместе с тем обеспечивая управление и защиту важнейших эксплуатационных и ИТ-функций.

## Преимущества пакетно-оптической сети

Объединение технологий пакетной и оптической передачи обеспечивает два ключевых преимущества. Во-первых, оно позволяет использовать данные IP, Ethernet и TDM в одной оптической сети WDM. Во-вторых, пакетно-оптические технологии повышают эффективность сети за счет агрегирования пакетов, качества обслуживания и эффективного использования ресурсов полосы пропускания.

Пакетно-оптическая технология обеспечивает ряд преимуществ стандартных транспортных услуг (знакомые принципы управления и выполнения операций, детерминированная производительность, отказоустойчивость, высокая доступность и низкая продолжительность задержек). Эти преимущества дополняются важными характеристиками технологии пакетной передачи (низкие затраты, поддержка нескольких услуг, эффективность и гибкость полосы пропускания, назначение качества обслуживания).

Пакетно-оптическая технология позволяет перейти от стандартных сетей SONET/SDH к сетям OTN/Ethernet операторского класса следующего поколения за счет эффективной поддержки любого сочетания трафика без значительных инвестиций. Коммунальное предприятие со временем может изменить сочетание трафика — для этого достаточно отказаться от устаревших каналов и более активно использовать услуги Ethernet.

В дополнение к общим возможностям пакетно-оптической сети Ethernet операторского класса предлагает ряд следующих ключевых преимуществ для коммуникаций в среде интеллектуальных энергосистем.

- **Простота.** Ethernet операторского класса легко развертывается за счет автоматического выделения ресурсов и удаленного тестирования и проверки. Возможность удаленного внесения изменений, выявления и устранения сбоев позволяет снизить рабочую нагрузку на сетевых специалистов коммунального предприятия при администрировании и обслуживании сети.
- **Сокращение затрат.** Ethernet операторского класса обеспечивает конвергенцию всех коммуникационных услуг на единой сетевой инфраструктуре, что значительно упрощает эксплуатацию и контроль затрат.
- **Повышенная безопасность и контролируемость сети.** Ethernet операторского класса располагает надежным уровнем безопасности, поскольку не является маршрутизируемым протоколом, благодаря чему об отслеживании адресов можно забыть. Используя инкапсуляцию данных на основе Ethernet, коммунальное предприятие может обеспечить доставку трафика в пункт назначения.
- **Гибкая масштабируемая полоса пропускания.** В отличие от технологий TDM, предусматривающих наращивание пропускной способности фиксированными шагами, Ethernet обеспечивает точную масштабируемость для динамического регулирования в соответствии с требованиями емкости по каждому узлу.
- **Средства эксплуатации, администрирования и технического обслуживания (OAM) операторского класса.** Ethernet операторского класса поддерживает широкий набор стандартных средств OAM, которые обеспечивают расширенные возможности для мониторинга и управления сетью. Эти средства обеспечивают для коммунальных предприятий повышенную прозрачность при контроле состояния и производительности сетевых соединений.
- **Низкая задержка.** Приложения автоматизации энергосистемы и подстанций требуют исключительно низкой сетевой задержки, не больше нескольких миллисекунд. Высокая чувствительность к задержкам представляет собой одну из основных проблем в сетях MPLS на базе IP — они подвержены воздействию джиттера и перегрузок, пакеты в них нередко сбрасываются, а данные приходится передавать повторно. Коммуникации на базе Ethernet операторского класса, напротив, исключительно детерминированы. Низкие задержки делают Ethernet операторского класса оптимальным решением для чувствительных к задержкам протоколов, на базе которых выполняется релейная телемеханическая защита и другие важные функции.
- **Детерминированные потоки трафика.** Ethernet операторского класса обеспечивает обработку трафика, что гарантирует актуальность маршрута, по которому передается поток пакетов. Звенья этих маршрутов, наряду с резервными маршрутами, можно планировать для обеспечения отказоустойчивости с переключением на резервный ресурс менее чем за 50 миллисекунд.
- **Прозрачность протоколов.** В отличие от VPN на базе IP, Ethernet VPN может поддерживать все стандартные протоколы приложений, от которых коммунальное предприятие пока не готово отказаться. Эта поддержка осуществляется посредством простого сопоставления трафика на кадрах уровня 2, которые прозрачно передаются по сети без дополнительного преобразования или обработки.

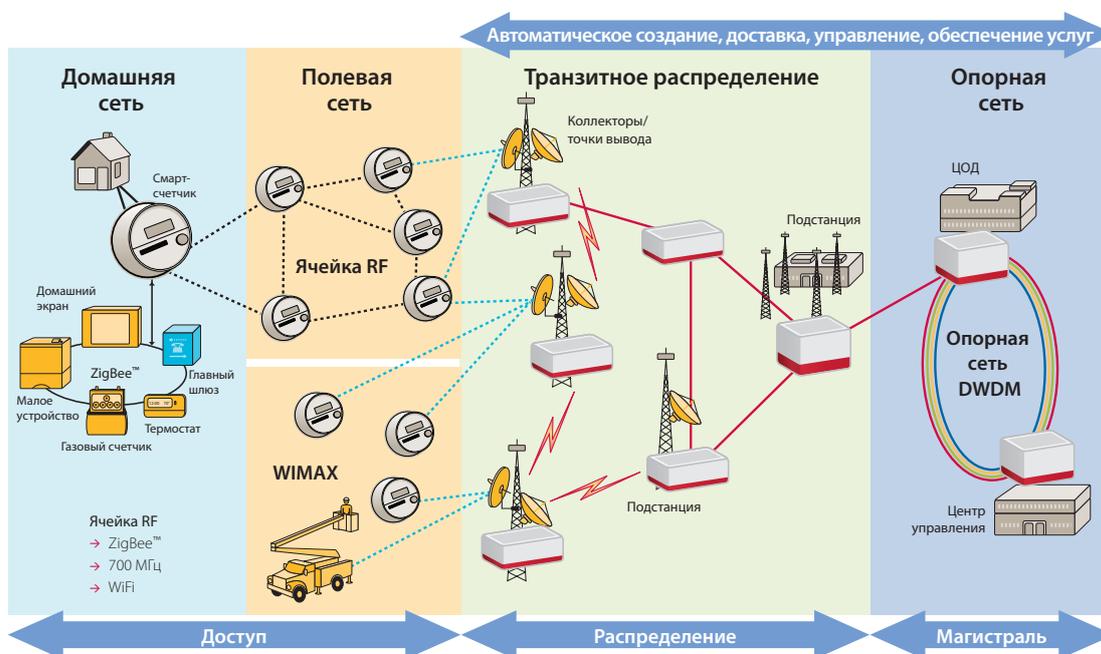


Рисунок 5. Эталонная архитектура пакетно-оптической сети для поддержки коммуникаций в среде интеллектуальной энергосистемы

### Эталонная пакетно-оптическая архитектура для коммуникационной сети интеллектуальной энергосистемы

На рис. 5 представлена эталонная архитектура пакетно-оптической сети Sigma для сквозных коммуникаций в среде энергосети с разделением на четыре отдельных сетевых домена.

Домен домашней сети использует проводную или беспроводную сеть на территории клиента для передачи информации между системой и клиентскими устройствами, такими как дисплеи, компьютеры, устройства управления энергией и смарт-счетчики.

Этот сетевой домен поддерживает двустороннюю доставку информации между смарт-счетчиками и сборщиками данных или точками доступа. Эта сеть может быть проводной или беспроводной, находиться она может в собственности самого коммунального предприятия или стороннего поставщика услуг.

Следующие два домена — транзитная и опорная магистральная сеть — охватывают большую часть важнейших систем контроля, распределения и передачи энергосистемы. Эти домены предъявляют к сети самые жесткие требования. Им необходима высокая доступность, масштабируемость, низкая длительность задержек, безопасность и поддержка взаимодействия.

Транзитная сеть подключает все точки сбора данных, такие как сборщики данных смарт-счетчиков и подстанции распределения и передачи, к центрам управления основными операциями. Такая сеть, как правило, использует высокоскоростное волокно, беспроводные микроволновые коммуникации и арендованные телекоммуникационные каналы.

Опорная магистральная сеть содержит высокоскоростные узлы, объединяющие центры управления коммунального предприятия, центры обработки данных и подстанционные сети распределения. Такая сеть, как правило, основана на кольцевой или ячеистой топологии, позволяющей устанавливать соединения между любыми устройствами.

Транзитные и опорные сети поддерживают использование важнейших эксплуатационных систем, таких как системы мониторинга и контроля SCADA (диспетчерское управление и сбор данных). Эти сети, помимо прочего, подключают полевое оборудование для автоматизации распределения электроэнергии (в том числе дистанционные блоки телеметрии RTU и IED, такие как автоматические выключатели, устройства АПВ, конденсаторы и трансформаторы, которые позволяют осуществлять удаленный мониторинг и контроль).

### Миграция устаревшей инфраструктуры для автоматизации подстанций

Автоматизация подстанций является ключевым элементом преобразования инфраструктуры коммунального предприятия до уровня интеллектуальной энергосистемы. Стандарт IEC 61850 Международной электротехнической комиссии (IEC) определяет требования к сети для поддержки информации и приложений при автоматизации подстанций. На практике этот стандарт реализует более простую и унифицированную инфраструктуру для подстанционной сети на основе Ethernet — с меньшими затратами и повышенной надежностью.

Тем не менее, выполнить миграцию устаревшей подстанции до уровня подстанции следующего поколения на базе стандарта IEC 61850 очень непросто. Многие коммунальные предприятия неспособны обеспечить полное соответствие этому стандарту, так как им по-прежнему необходимо поддерживать устаревшие интерфейсы TDM на оборудовании, не соответствующем требованиям IEC 61850.

Важно понимать, что переход на стандарт IEC 61850 не требует немедленной замены используемых протоколов. Существуют решения, позволяющие добавлять в сеть компоненты на основе стандарта IEC 61850, не отказываясь при этом от использования стандартных протоколов. Используя надлежащий план, коммунальные предприятия могут модернизировать свои

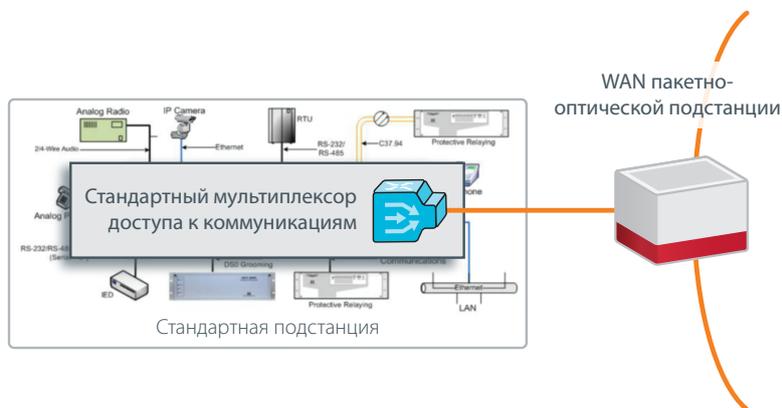


Рисунок 6. Пакетно-оптические сети обеспечивают конвергентную передачу данных между подстанциями и центрами управления, а также в их среде

системы в собственном темпе, используя пакетно-оптические коммуникации в качестве технологического моста между стандартными и пакетными протоколами.

На рис. 6 представлен один из подходов к миграции устаревших систем. В соответствии с требованиями подстанции сеть должна поддерживать длинный список реализованных устаревших протоколов (в дополнение к новым устройствам IP/Ethernet). Коммунальное предприятие может запланировать замену устройств SCADA на устройства с современными IED Ethernet.

В данном примере специальный подстанционный мультиплексор используется для агрегирования низкоскоростных последовательных и TDM-интерфейсов с последующей передачей на интерфейс Ethernet LAN к пакетной транспортной сети. Пакетно-оптический функционал при этом обеспечивает управляемый и отказоустойчивый конвергентный транспорт данных между подстанциями и центрами управления.

### Более интеллектуальная модель для коммуникационных сетей интеллектуальных энергосистем

Ciena предлагает более интеллектуальный подход к модернизации инженерных сетей на основе надежного, управляемого и экономичного решения. Это решение представляет собой отличную альтернативу сетям SONET/SDH и маршрутизируемым сетям IP/MPLS. Хотя пакетно-оптические архитектуры пока распространены в коммунальной сфере не так широко, они уже давно доказали свою эффективность на практике — в сложных проводных и беспроводных сетях по всему миру. Пакетно-оптические сети предлагают коммунальным предприятиям сократить капитальные и эксплуатационные затраты, повысить детерминированность и прогнозируемость ряда сетевых услуг.

В будущем решения Ciena позволят непосредственно расширить полосу пропускания от 1G до 10G и 100G. Значение удобной масштабируемости в будущем будет лишь возрастать, поскольку информация становится краеугольным камнем бизнеса и преобразования коммунальных предприятий.

Используя модули Ciena на базе DWDM, OTN и Ethernet операторского класса, а также средства унифицированного управления, коммунальные предприятия могут специализировать новые сети в соответствии с эксплуатационными требованиями любой интеллектуальной энергосистемы.

### Velco разворачивает региональную пакетно-оптическую сеть

Velco — региональное коммунальное предприятие, управляющее системой энергообеспечения протяженностью более 1000 км. Эта система объединяет 20 электrorаспределительных объектов по всему штату Вермонт. Сетевая среда предприятия была основана на стандартной волоконной инфраструктуре OC-48 SONET и арендованных каналах T1 до подстанций. На подстанциях с помощью различных устройств осуществлялось мультиплексирование стандартных сервисов: телефонных систем TDM, аналоговой передачи речи и стандартных систем RTU и SCADA.

В своей сети следующего поколения Velco использует региональную пакетно-оптическую сеть от IBM и Ciena. Эта сеть обеспечивает низкие эксплуатационные расходы, повышенную производительность и масштабируемость. Кроме того, она эффективно взаимодействует со всеми распределительными объектами Velco. Новая сеть позволяет Velco удовлетворить текущие эксплуатационные требования к переадресуемому трафику, SCADA, корпоративным каналам передачи речи и данных, расширенной инфраструктуре учета. При реализации новых программ интеллектуальных энергосистем предприятие может управлять новой системой силами относительно небольшой группы специалистов.

Корпорация Ciena может без предупреждения периодически вносить изменения в продукты или характеристики, описанные в настоящем документе. © Корпорация Ciena®, 2014. Все права защищены. WP159\_ru\_RU 9.2014