



Однопарный Ethernet стандарта 10BASE-T1L как единая инфраструктура для систем видеонаблюдения, диспетчерской связи и передачи данных на промышленных площадках

Максим Рафальсон

В статье рассматривается применение стандарта однопарного Ethernet IEEE 802.3cg (10BASE-T1L) в качестве единой кабельной инфраструктуры для решения трёх классов задач на промышленных площадках: видеонаблюдение, диспетчерская телефонная связь и подключение удалённых рабочих мест.

Исходными данными послужило техническое задание на модернизацию автозаправочной станции (АЗС) промышленного предприятия в г. Темиртау (Карагандинская область, -49°C в холодный период). Проведён сравнительный анализ классического решения (волоконно-оптическая магистраль + уличные PoE-коммутаторы + аналоговые телефоны) и решения на базе 10BASE-T1L. Показано снижение совокупных затрат за три года на 28% при существенном упрощении монтажа и эксплуатации. Описаны технические решения комплекта Insol-Vision (коммутатор Insol Switch, адаптер CCTV-T1, кабель Insol-WS APL), а также сценарий подключения уличного SIP-телефона и будки охраны по единому двухпроводному кабелю.

Введение

Стандарт IEEE 802.3cg-2019, введший физическую спецификацию 10BASE-T1L, был разработан как современная замена промышленных полевых шин – PROFIBUS PA и Foundation Fieldbus. Единственная витая пара с волновым сопротивлением 100 Ом обеспечивает пере-

дачу данных со скоростью 10 Мбит/с на расстояние до 1000 м в стандартном режиме и до 1500 м в реализациях отдельных производителей. Функция питания по линии данных PoDL (Power over Data Line, IEEE 802.3bu) обеспечивает мощность до 15 Вт на порт – достаточно для питания промышленной IP-камеры или SIP-телефона без отдельного кабеля электропитания [1].

Логика применения технологии в системах видеонаблюдения очевидна: вместо традиционной связки «оптический кабель + уличный шкаф с PoE-коммутатором + кабель 220 В» – единственный двухпроводный кабель от центрального коммутатора до каждого оконечного устройства. Однако в реальных проектах возникает вопрос: применима ли данная концепция не только для видеонаблюдения, но и для одновременного решения смежных задач – диспетчерской связи и подключения удалённых рабочих мест?

Настоящая статья отвечает на этот вопрос на основе анализа реального технического задания на модернизацию АЗС промышленного предприятия в условиях континентального климата Центрального Казахстана.

Анализ технического задания

Техническое задание на модернизацию АЗС промышленного предприятия (г. Темиртау, Карагандинская область, 2026 г.) содержит требования к трём классам полевого оборудования, традиционно реализуемым по отдельным кабельным инфраструктурам.

Система видеонаблюдения

ТЗ предписывает построение системы на IP-видеокамерах с топологией сети «Кольцо» с резервированием (рис. 1). Требования к камерам: разрешение не менее 4 Мп, степень защиты IP67, диапазон рабочих температур $-40...+50^{\circ}\text{C}$ для уличных исполнений (корпус + термокожух). Для узлов распределения ТЗ требует уличных коммутационных шкафов со степенью защиты не менее IP66, встроенным ИБП (резерв не менее 1 часа), системой обогрева и охлаждения, мониторингом по SNMP. Расстояние от шкафа до камеры – не более 80 м.

Данные требования полностью соответствуют характеристикам широко применяемых решений класса TFortis PSW-2G+UPS-Box – признанных отрасле-

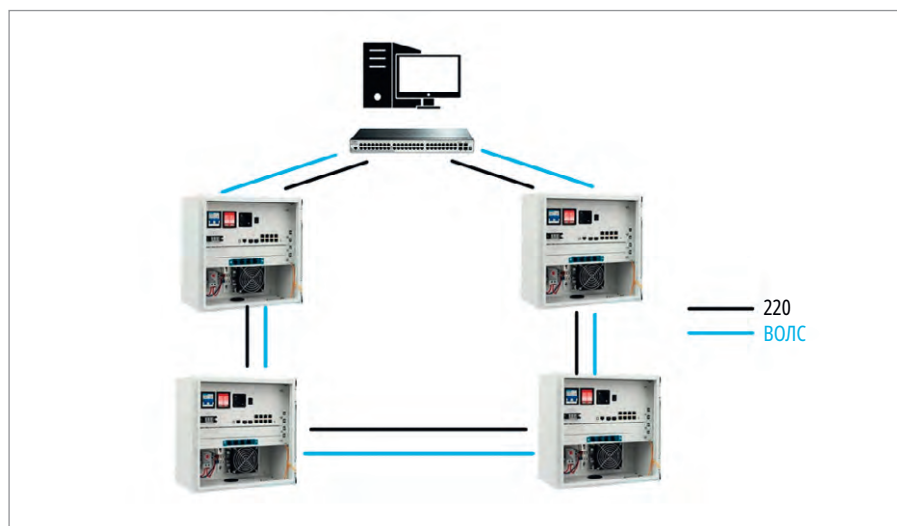


Рис. 1. Топология «Кольцо» с резервированием – центральный узел, уличные шкафы-коммутаторы, оптические магистрали. Схема из ТЗ на автоматизацию промышленного предприятия, г. Темиртау, 2026 г.

вых стандартов для уличного видеонаблюдения в суровых климатических условиях.

Диспетчерская телефонная связь (ОДС)

ТЗ предписывает организацию оперативно-диспетчерской связи (ОДС) с применением телефонного кабеля марки ТПП и аппаратов типа ТАШ-1П – проверенного и широко применяемого решения для промышленных объектов. Коммутатор ОДС должен поддерживать гибридную архитектуру (аналог + IP), групповые и циркулярные вызовы, экстренный вызов, горячую линию, запись переговоров. Кабельные трассы для телефонии и видеонаблюдения по ТЗ прокладываются отдельно в металлических трубах.

Климатические условия

Климатические условия (табл. 1) являются определяющим фактором при выборе оборудования: все полевые устройства должны сохранять работоспособность при температурах ниже -40°C , что существенно сужает круг применимых решений и увеличивает требования к системам обогрева шкафов.

Классическое решение: анализ состава и затрат

Для АЗС (Нефтебаз) с периметром 200×200 м и 21 точкой видеонаблюдения классическое решение включает три независимые кабельные системы: волоконно-оптическую магистраль (видеонаблюдение), кабель питания 220 В (электропитание шкафов), кабель ТПП (телефония).

Видеонаблюдение

По топологии «Кольцо» от центрального узла в операторной прокладывается одномодовый оптический кабель КС-ОКЛ 8 жил по периметру площадки (~960 м с запасом). К кольцу подклю-

чаются 6 уличных шкафов TFortis PSW-2G+UPS-Box (4 камеры на шкаф), каждый из которых требует ввода 220 В АС. От шкафа до камер прокладывается кабель FTP Cat5e (≤ 80 м) и отдельный кабель ВВГ $3 \times 2,5$ для питания терможухов. Монтаж ВОЛС требует привлечения специалиста со сварочным аппаратом для выполнения 12 сварных соединений (рис. 2).

Диспетчерская связь и будка охраны

По ТЗ телефонная сеть ОДС выполняется кабелем ТПП в отдельных трубных трассах. Аппараты ТАШ-1П – надёжное решение для промышленных объектов, однако требуют отдельной кабельной инфраструктуры и аналоговой АТС. Для телефонизации точки приёма нефтепродуктов и будки охраны необходима прокладка дополнительных кабелей ТПП.

Будка охраны на въезде АЗС (~180 м от операторной) представляет отдельную задачу: помимо телефона, охраннику требуется подключение к сети

Таблица 1. Климатические условия эксплуатации (г. Темиртау, СНиП РК 2.04-01-2010)

Параметр	Значение
Абсолютный минимум температуры	-49°C (холодный период)
Абсолютный максимум	$+39^{\circ}\text{C}$ (тёплый период)
Температура наиболее холодных суток	-39°C
Глубина промерзания грунта	1,8 м (промышленные объекты)
Сейсмичность	До 6 баллов
Барометрическое давление	715 мм рт. ст.

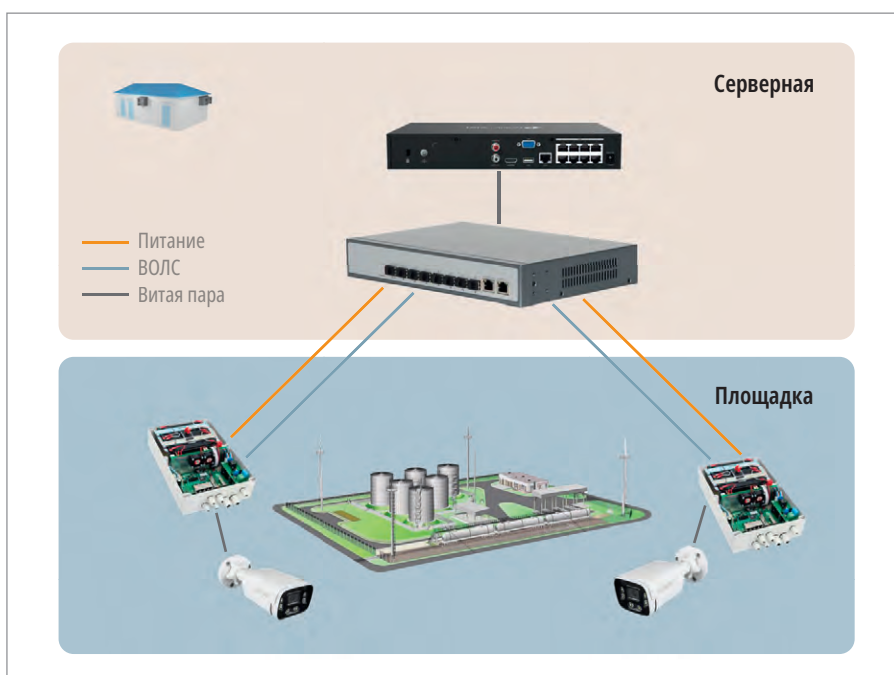


Рис. 2. Классическая архитектура: ВОЛС (кольцо) → уличные шкафы TFortis → камеры (FTP Cat5e + ВВГ). Три независимые кабельные системы



Рис. 3. Комплект Insol-Vision: коммутатор Insol Switch + камеры HiWatch с платой CCTV-T1 + кабель Insol-WS APL

(терминал СКУД, внутренняя камера, АРМ). При этом стандартный PoE ограничен 100 м, оптика избыточна и требует сварщика, Wi-Fi-мост ненадёжен в промышленной зоне при -49°C .

Решение – отдельный кабельный ввод с медиаконвертером и источником питания, что влечёт дополнительные затраты ~95 000 руб. на кабель и оборудование.

Решение на базе 10BASE-T1L: единая инфраструктура

Предлагаемый подход основан на применении стандарта 10BASE-T1L в качестве единой физической шины для всех полевых устройств: камер, телефонов и сетевого оборудования будки охраны. Ключевой принцип – один кабель Insol-WS APL (100 Ом, $-50...+85^{\circ}\text{C}$) от центрального коммутатора Insol Switch до каждого оконечного устройства. По этому кабелю одновременно передаются данные (10 Мбит/с) и питание (PoDL 48 В DC, до 15 Вт).

Видеонаблюдение – комплект Insol-Vision

Адаптация серийной IP-камеры к интерфейсу 10BASE-T1L выполняется с помощью платы CCTV-T1, монтируемой внутри корпуса камеры. Процедура установки: штатный кабель питания и патч-корд RJ-45 камеры обрезается, вместо него подключается быстроразъёмный разъём платы CCTV-T1. Кабель Insol-WS заводится через штатный кабельный сальник корпуса камеры. Снаружи камера выглядит стандартно – из неё выходит один кабель Insol-WS вме-

сто UTP. Прошивка и конфигурация камеры не изменяются: она «видит» обычный Ethernet 100BASE-TX и питание PoE IEEE 802.3af (рис. 3).

Признанные производители камер – Hikvision и HiWatch – выпускают широкую линейку IP-камер стандарта ONVIF, совместимых с платой CCTV-T1 без каких-либо изменений прошивки. Это позволяет заказчику сохранить привычный парк оборудования, добавив лишь SPE-адаптер.

Диспетчерская связь – SIP-телефон на шине 10BASE-T1L

Гипотетически рассмотрим сценарий: на точке приёма нефтепродуктов АЗС требуется установить уличный телефон диспетчерской связи. Классическое решение – аппарат ТАШ-1П с отдельной линией ТПП. Альтернатива на базе SPE: уличный SIP-телефон (например, Fanvil H3W, IP66) с подключением через медиаконвертер MC31 к шине



Рис. 4. MC31 для подключения уличного SIP-телефона

10BASE-T1L. Кабель Insol-WS обеспечивает одновременно данные и питание телефона – дополнительный кабель питания не требуется.

Трафик SIP-телефона составляет 64 кбит/с в кодеке G.711 – менее 1% пропускной способности линии 10BASE-T1L. Таким образом, на одном кабеле Insol-WS одновременно работают камера (2–3 Мбит/с по H.265+) и телефон (0,064 Мбит/с) при суммарной загрузке линии ~30%.

Для применения в зонах класса 1/2 по взрывоопасности (пары нефтепродуктов на АЗС) телефон должен иметь взрывозащищённое исполнение (Ex ia или Ex d). Разработка специализированного исполнения SIP-телефона с интерфейсом 10BASE-T1L и сертификатом ATEX/IECEX ведётся авторами; результаты будут представлены в последующих публикациях.

Будка охраны – единый кабель для трёх задач

Наиболее наглядный пример преимуществ 10BASE-T1L – телефонизация и подключение будки охраны на въезде АЗС (~180 м от операторной). Классические решения здесь сопряжены с существенными ограничениями: стандартный PoE не достигает 180 м; оптика требует ВОЛС-специалиста; Wi-Fi-мост ненадёжен при -49°C в промышленной зоне; прокладка 220 В требует согласований с энергетиком объекта.

По схеме 10BASE-T1L один кабель Insol-WS от коммутатора Insol Switch в операторной до будки охраны обеспечивает одновременно: SIP-телефон охранника (интеграция в ОДС предприятия), IP-камеру внутри будки, мини-Wi-Fi-роутер для АРМ охранника и терминала СКУД – всё с питанием по PoDL без отдельного кабеля 220 В (рис. 4). Дополнительных кабельных трасс и согласований не требуется.

Сравнительный анализ затрат

В табл. 2 приведён сравнительный расчёт затрат для рассматриваемого объекта (АЗС, периметр 200×200 м, 21 камера, 3 телефонные точки, будка охраны). Цены приведены по публичным прайс-листам производителей и дистрибьюторов на 1-е полугодие 2025 г. (TFortis PSW-2G+UPS-Box – 97 400 руб., tinko.ru; Insol-WS APL 0,75 мм² – 150 руб/м, insolsoft.ru; монтаж ВОЛС – 120 руб/м по данным подрядчиков).

Таблица 2. Сравнение затрат: классическое решение vs 10BASE-T1L.
АЗС 200×200 м, 21 камера, 3 SIP-телефона, будка охраны. Цены – 1П 2025 г.

Статья затрат	Классика CAPEX	Классика ОРЕХ/год	Insol-Vision CAPEX	Insol-Vision ОРЕХ/год
Видеонаблюдение: кабельная магистраль	200 900	–	567 000	–
Видеонаблюдение: монтаж кабеля	121 200	–	94 500	–
Уличные шкафы TFortis PSW-2G+UPS (×6) или Insol Switch v3 (×1)	584 400	60 000	90 000	0
SFP-модули оптические (×6 пар)	43 200	–	0	–
Питание 220 В на поле (кабель ВВГ+монтаж)	180 000	–	0	–
Камеры 5 Мп × 21 шт. (с термокожухом)	325 500	–	409 500	–
Телефон ОДС: кабель ТПП + монтаж	48 000	–	0	–
Телефон ОДС: аппараты ТАШ-1П (×3 шт.) или SIP Fanvil H3W + MC31 (×3 шт.)		15 000	48 000	5000
Будка охраны: отдельный кабель+оборудование	95 000	–	0	–
Центральный коммутатор + видеосервер	425 000	–	425 000	–
Проектирование + ПНР + ВОЛС-специалист	230 000	–	160 000	–
ТО шкафов, замена АКБ	–	60 000	–	0
ТО системы в целом	–	40 000	–	30 000
ИТОГО CAPEX	2 298 200		1 794 000	
ИТОГО ОРЕХ/год		115 000		35 000
ИТОГО за 3 года	2 643 200		1 899 000	
ЭКОНОМИЯ (3 года)			–744 200 Р (–28%)	

Анализ таблицы показывает следующее. По статье CAPEX экономия достигается за счёт исключения шести уличных шкафов TFortis (~584 400 руб.), SFP-модулей (~43 200 руб.), кабеля питания 220 В (~180 000 руб.) и отдельной телефонной кабельной инфраструктуры (~48 000 руб.). Суммарная экономия по инфраструктурным статьям составляет ~855 600 руб., которая частично компенсируется более дорогим кабелем Insol-WS (~566 100 руб. против ~200 900 руб. за оптику и ТПП). Итоговое снижение CAPEX – 22% (504 200 руб.). По статье ОРЕХ экономия более выражена: обслуживание шести уличных шкафов с ИБП и заменой аккумуляторов в условиях –49°C обходится в 60 000–80 000 руб./год. В решении на 10BASE-T1L эта статья расходов равна нулю – шкафов на поле нет. За три года суммарная экономия составляет 744 200 руб. (28%).

Нематериальные преимущества, не отражённые в таблице: отсутствие потребности в ВОЛС-специалисте для монтажа и обслуживания; исключение 220 В на опорах периметра АЗС (что требует отдельных согласований с энергетиком и создаёт дополнительные риски на взрывоопасном объекте); совместимость кабеля Insol-WS с существующими трассами PROFIBUS Type A (при наличии – без перетяжки кабеля); монтаж выполняется штатным элек-

триком без специальной квалификации по ВОЛС.

Ограничения и условия применения

- **Пропускная способность.** 10 Мбит/с на линию достаточно для одной камеры H.265+ (2–3 Мбит/с) и SIP-телефона (0,064 Мбит/с) одновременно. Для камер 4К с битрейтом > 8 Мбит/с или PTZ-камер с высоким потреблением питания (> 15 Вт) рекомендуется сохранить классическую PoE-схему.
- **Длина трасс.** При средней трассе свыше 250–270 м стоимость кабеля Insol-WS (150 руб/м) начинает превышать экономии от исключения шкафов. Точка безубыточности – ~2200–2500 м суммарной длины кабельных трасс объекта.
- **Взрывозащита.** Серийные уличные SIP-телефоны в исполнении IP66 применимы в невзрывоопасных зонах. Для зон класса 1/2 (пары нефтепродуктов) необходим аппарат с сертификатом Ex ia / Ex d по АТЕХ или IECEx – разработка ведётся.
- **Требования ТЗ к ОДС.** Если ТЗ предусматривает конкретный тип АТС с аналоговыми портами (как в рассматриваемом случае), интеграция SIP-телефонов требует SIP-шлюза. При наличии IP-АТС (Asterisk, Cisco UCM и аналоги) интеграция не вызывает затруднений.

Заключение

Стандарт 10BASE-T1L (IEEE 802.3cg), разработанный как современная замена промышленных полевых шин, открывает возможность построения единой кабельной инфраструктуры для разнородных полевых систем промышленного объекта.

На примере реального технического задания на модернизацию АЗС в условиях континентального климата показано, что по одному двухпроводному кабелю Insol-WS APL возможно одновременное решение задач видеонаблюдения (камеры с адаптером CCTV-T1), диспетчерской связи (уличный SIP-телефон с MC31) и подключения удалённых рабочих мест (будка охраны).

Экономический анализ демонстрирует снижение совокупных затрат за три года на 28% по сравнению с классическим решением на базе ВОЛС, уличных PoE-шкафов и аналоговой телефонии. Ключевые источники экономии – исключение уличных шкафов с ИБП, оптической магистрали и отдельной телефонной кабельной инфраструктуры.

Показанная концепция «один кабель – видео, голос, данные, питание» особенно актуальна для объектов в суровых климатических условиях, удалённых или труднодоступных площадок, а также при модернизации объектов с существующими кабельными трассами PROFIBUS Type A. ●

Литература

1. IEEE Std 802.3cg-2019. IEEE Standard for Ethernet Amendment 5: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10 Mb/s Operation and Associated Power Delivery over a Single Balanced Pair of Conductors. IEEE, 2019.
2. IEEE Std 802.3bu-2016. Physical Layer and Management Parameters for Power over Data Lines (PoDL). IEEE, 2016.
3. Ethernet-APL Engineering Guideline, Rev. 1.1. FieldComm Group, PROFIBUS & PROFINET International, 2022.
4. TFortis PSW-2G+UPS-Box. Руководство по эксплуатации. Fort Telecom, 2024. URL: tfortis.ru.
5. Insol Switch – Руководство по эксплуатации. INSOL.SWITCH.P3-001 v1.2. ООО «Инсол», 2025. URL: insolsoft.ru.
6. Fanvil H3W Outdoor SIP Phone. Product Datasheet. Fanvil Technology Co., Ltd., 2024.
7. СНиП РК 2.04-01-2010. Строительная климатология. Астана: КазНИИКА, 2010.
8. Brandt D. General Purpose Single Pair Ethernet for Process Instruments. ODVA 2023 Industry Conference, 2023.