

Гонтарь Александр Олегович,  
магистрант, СибГУТИ  
Gontar Alexander Olegovich

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕДНОГО ТРАКТА  
С РЕГЕНЕРАТОРАМИ И ОПТОВОЛОКОННОГО ТРАКТА С  
МЕДИАКОНВЕРТЕРАМИ В СИСТЕМАХ IP-ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ  
COMPARATIVE ANALYSIS OF A COPPER CABLE PATH  
WITH REGENERATORS AND A FIBER-OPTIC CABLE PATH WITH MEDIA  
CONVERTERS IN IP VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS**

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема передачи аудио- и видеоданных в системах IP-видеонаблюдения на большие расстояния. Проводится сравнительный анализ двух подходов: наращивания медной линии с помощью Ethernet-регенераторов и построения оптической линии на базе медиаконвертеров. Анализ выполняется по критериям электромагнитной совместимости, помехоустойчивости, отказоустойчивости, дальности связи, совокупной стоимости владения и эксплуатационных условий. Приводятся результаты расчёта капитальных затрат для дистанций 200 и 1000 метров. На основе анализа формулируются практические рекомендации по выбору оптимальной схемы в зависимости от условий эксплуатации.

**Abstract.** This article examines the problem of transmitting audio and video data over long distances in IP video surveillance systems. A comparative analysis of two approaches is provided: extending a copper line using Ethernet regenerators and building an optical line using media converters. The analysis is based on criteria such as electromagnetic compatibility, noise immunity, fault tolerance, communication range, total cost of ownership, and operating conditions. Capital cost calculations for distances of 200 and 1000 meters are presented. Based on this analysis, practical recommendations are developed for selecting the optimal design based on operating conditions.

**Ключевые слова:** IP-видеонаблюдение, витая пара, оптоволокно, медиаконвертер, регенератор, PoE, Ethernet, помехоустойчивость, стоимость владения.

**Keywords:** IP video surveillance, twisted pair, fiber optic, media converter, regenerator, PoE, Ethernet, noise immunity, cost of ownership.

Современные системы IP-видеонаблюдения генерируют большие объёмы данных, требующие передачи в реальном времени. Как отмечается в исследовании, посвящённом проектированию систем видеонаблюдения, «сегодняшнее цифровое наблюдение превосходит старую аналоговую» [1]. Однако стандарт Ethernet по витой паре имеет физическое ограничение дальности передачи – 100 метров, что создаёт существенные проблемы при организации наблюдения на периметре крупных объектов, между зданиями или на промышленных площадках.

Для подключения удалённых камер применяются два основных подхода: установка промежуточных усилителей-регенераторов на медной линии и переход на оптический кабель с использованием медиаконвертеров. Целью данной работы является объективное сравнение этих методов по ряду технических и экономических критериев для обоснованного выбора архитектуры сети.

В качестве базовой конфигурации рассматривается система IP-видеонаблюдения, включающая видеокамеру и сетевой видеорегистратор (NVR) со стандартными разъёмами RJ-45. Отмечается, что в современных системах «широкое распространение получила технология PoE» (Power over Ethernet), позволяющая передавать питание по тому же кабелю, что и данные [9]. В рамках исследования анализируются три архитектурные схемы (рисунок 1).



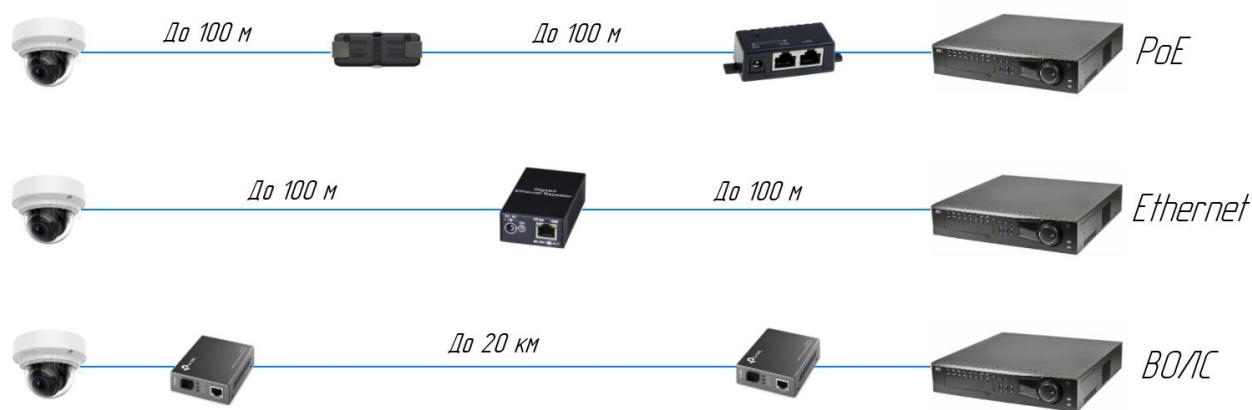


Рис. 1 – схемы сравниваемых систем

Данная схема представляет собой каскадное соединение PoE-повторителей. В качестве примера рассматривается модель MikroTik GPeR – гигабитный повторитель, позволяющий преодолевать дистанцию до 210 метров между устройствами по витой паре [1]. Ключевой особенностью является возможность передачи питания (PoE) по той же линии, что исключает необходимость прокладки отдельного силового кабеля к промежуточным устройствам.

Альтернативным решением является использование Ethernet-повторителей, например, модели SC&T SR01X. Данное устройство обеспечивает восстановление сигнала на дистанции до 120 метров между сегментами [2]. В отличие от PoE-решений, питание регенераторов в этой схеме требуется подавать отдельно, что накладывает дополнительные ограничения при развёртывании на удалённых объектах.

Третий подход предполагает использование пары медиаконвертеров, устанавливаемых на концах оптоволоконной линии. Электрический сигнал от камеры преобразуется в оптический, передаётся по волокну и на стороне регистратора снова преобразуется в электрический. Как указывается в технической документации, многомодовые медиаконвертеры (например, TP-Link MC100CM) работают на расстоянии до 2 км [3], а одномодовые модели (TP-Link MC111CS и MC112CS) обеспечивают передачу до 20 км [4, 5]. Такая архитектура позволяет полностью снять ограничения по дальности, характерные для медных линий.

Согласно стандарту IEEE 802.3, максимальная длина сегмента витой пары для скоростей 10/100/1000 Мбит/с составляет 100 метров. Это ограничение обусловлено затуханием сигнала: с удлинением линии падает амплитуда, и приёмник перестаёт достоверно распознавать логические уровни. Возникает необходимость применения регенераторов.

При последовательной установке репитеров теоретически возможно бесконечное наращивание расстояния, однако каждый репитер вносит задержку распространения сигнала. Кроме того, на больших дистанциях падает напряжение PoE, что на практике ограничивает длину линии несколькими сотнями метров.

В отличие от витой пары, оптоволоконная линия не имеет жёсткого ограничения в 100 метров. Как подчёркивается в литературе по системам передачи данных, «в масштабных системах и комплексах видеонаблюдения, в которых требуется большая скорость передачи данных, в основном используют в качестве среды передачи данных волоконно-оптические кабели» [10]. Дальность определяется исключительно типом волокна и оптических модулей.

Витая пара, особенно неэкранированная (UTP), подвержена влиянию электромагнитных помех. Как отмечается в работе, посвящённой анализу угроз в системах видеонаблюдения, «основными видами угроз при передаче видеoinформации по «витой паре» являются промышленные помехи, угрозы попадания в аппаратуру разряда молнии» [11]. Кроме того, при соединении зданий с разными контурами заземления возникают уравнительные токи, способные вывести из строя оборудование.

Оптоволокно, напротив, изготовлено из диэлектрического материала и полностью невосприимчиво к любым электромагнитным воздействиям. Гальваническая развязка, обеспечиваемая оптическим кабелем, решает проблему разности потенциалов земли и защищает аппаратуру от повреждений при грозовых разрядах, что критически важно для обеспечения надёжности системы.

Для количественного сравнения были рассчитаны капитальные затраты для двух характерных дистанций: 200 метров и 1000 метров. Исходные данные для расчёта представлены в таблице 1, а результаты сведены в таблицу 2.

Таблица 1 – Исходные данные для расчёта стоимости

| Компонент            | Модель / тип                 | Цена, руб. |
|----------------------|------------------------------|------------|
| РоЕ-инжектор         | Wi-Tek WI-POE51-48V          | 1 800      |
| РоЕ-регенератор      | MikroTik GPeR (до 210 м)     | 3 200      |
| Ethernet-регенератор | SC&T SR01X (до 120 м)        | 5 000      |
| Медиаконвертер       | TP-LINK MC111CS / MC112CS    | 2 000      |
| Кабель оптический    | Патч-корд, одномодовый (1км) | 16000      |
| Кабель витая пара    | FTP 5е, (305 м)              | 8 000      |

Система на РоЕ-регенераторах:

$$C_{\text{РоЕ}}^{200} = C_{\text{инж}} + C_{\text{рег}} + L \cdot C_{\text{УТР}}$$

$$C_{\text{РоЕ}}^{200} = 1800 + 3200 + 200 \cdot 26,2 = 1800 + 3200 + 5240 = 10\,240 \text{ руб.}$$

Система на Ethernet-регенераторах:

$$C_{\text{Eth}}^{200} = C_{\text{рег}} + L \cdot C_{\text{УТР}} = 5000 + 5240 = 10\,240 \text{ руб.}$$

Система на оптоволокне:

$$C_{\text{FO}}^{200} = 2 \cdot C_{\text{конв}} + L \cdot C_{\text{FO}} = 2 \cdot 2000 + 200 \cdot 16 = 4000 + 3200 = 7\,200 \text{ руб.}$$

Для дистанции 1000 метров количество регенераторов определяется с учётом максимальной длины сегмента между устройствами. Для РоЕ-регенераторов необходимо  $\lceil 1000/210 \rceil = 5$  устройств, для Ethernet-регенераторов –  $\lceil 1000/120 \rceil = 8$  устройств.

$$C_{\text{РоЕ}}^{1000} = 1800 + 5 \cdot 3200 + 1000 \cdot 26,2 = 1800 + 16000 + 26200 = 44\,000 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{Eth}}^{1000} = 8 \cdot 5000 + 1000 \cdot 26,2 = 40000 + 26200 = 66\,200 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{FO}}^{1000} = 2 \cdot 2000 + 1000 \cdot 16 = 4000 + 16000 = 20\,000 \text{ руб.}$$

Таблица 2

Сравнение капитальных затрат для дистанций 200 и 1000 метров

| Статья затрат             | РоЕ,<br>200 м | Ethernet,<br>200 м | ВОЛС,<br>200 м | РоЕ,<br>1000 м | Ethernet,<br>1000 м | ВОЛС,<br>1000 м |
|---------------------------|---------------|--------------------|----------------|----------------|---------------------|-----------------|
| Активные устройства, руб. | 5 000         | 5 000              | 4 000          | 17 800         | 40 000              | 4 000           |
| Кабель, руб.              | 5 240         | 5 240              | 3 200          | 26 200         | 26 200              | 16 000          |
| <b>Итого, руб.</b>        | <b>10 240</b> | <b>10 240</b>      | <b>7 200</b>   | <b>44 000</b>  | <b>66 200</b>       | <b>20 000</b>   |

На дистанции 200 метров все три схемы сопоставимы по стоимости (7–10 тыс. рублей). Оптическая линия оказывается несколько выгоднее по материалам, однако необходимо учитывать стоимость монтажа: оптоволокно требует сварки или оконечивания специальным инструментом, тогда как витая пара обжимается коннектором RJ-45 без сложного оборудования.

На дистанции 1000 метров преимущество оптической схемы становится очевидным:

- В 2,2 раза дешевле решения на РоЕ-регенераторах;
- В 3,3 раза дешевле схемы с Ethernet-регенераторами.



Главная причина – отсутствие промежуточных активных устройств. Пара медиаконвертеров обслуживает всю линию целиком, стоимость увеличивается только за счёт длины оптоволоконной линии.

Обслуживание линии с регенераторами значительно сложнее. Промежуточные устройства распределены по всей трассе, и отказ любого из них требует поиска неисправного звена в каскаде. Как отмечается в исследовании систем SBNI, критически важным является «осуществление полного контроля над временем выполнения кода» [12], однако применительно к сетевым трактам можно говорить о необходимости контроля над целостностью каждого сегмента.

В оптической линии всё активное оборудование (медиаконвертеры) расположено в легкодоступных местах – на стороне камеры и на стороне регистратора. На самой трассе отсутствуют элементы, требующие обслуживания. Единственная возможная неисправность – нарушение целостности волокна, которая быстро локализуется с помощью оптического рефлектометра.

На основании проведённого анализа можно сформулировать следующие рекомендации по выбору архитектуры.

Медные решения сохраняют экономическую целесообразность при соблюдении следующих условий:

- дальность линии не превышает 100–400 метров;
- отсутствуют мощные источники электромагнитных помех;
- камера поддерживает PoE, а на месте установки нет розетки 220 В;
- трасса проходит внутри одного здания или между соседними строениями с общим контуром заземления;

- уже проложена медная инфраструктура, и её замена экономически нецелесообразна.

Переход на оптическую линию становится необходимым в следующих ситуациях:

- соединение зданий с разными контурами заземления, где возникает разность потенциалов и требуется гальваническая развязка;
- трасса проходит в условиях сильных электромагнитных помех (рядом с высоковольтными линиями, промышленным оборудованием);
- расстояние превышает 400–500 метров;
- требуется повышенная отказоустойчивость и запас для будущей модернизации;
- линия проходит по открытой территории с риском грозовых наводок;
- на трассе отсутствует возможность размещения промежуточных устройств с питанием.

Таким образом проведённый сравнительный анализ медных трактов с регенераторами и оптоволоконных трактов с медиаконвертерами для систем IP-видеонаблюдения показал, что оптические линии значительно превосходят медные по помехоустойчивости и масштабируемости расстояния. Медные решения сохраняют экономическую целесообразность только на коротких дистанциях (до 400 м) и при благоприятных условиях эксплуатации.

Расчёт капитальных затрат для дистанции 1000 метров показал, что оптоволоконное решение с медиаконвертерами в 2,2–3,3 раза дешевле альтернатив на основе регенераторов. Граничное расстояние, на котором оптическая схема становится предпочтительнее, находится в диапазоне 400–500 метров. Выбор конкретной схемы должен основываться на комплексном учёте электромагнитной обстановки, бюджета на монтаж и требуемого срока службы системы.

#### **Список литературы:**

1. Гигабитный повторитель MIKROTIK GPER // URL: [https://www.onlinetrade.ru/catalogue/poe\\_oborudovanie-c723/mikrotik/gigabitnyy\\_povtoritel\\_mikrotik\\_gper-1966139.html](https://www.onlinetrade.ru/catalogue/poe_oborudovanie-c723/mikrotik/gigabitnyy_povtoritel_mikrotik_gper-1966139.html) (дата обращения: 03.05.2026).



2. Повторитель Gigabit Ethernet SC&T SR01X // URL:  
[https://www.onlinetrade.ru/catalogue/poe\\_oborudovanie-c723/sc\\_t/povtoritel\\_gigabit\\_ethernet\\_sc\\_t\\_sr01x-2641702.html](https://www.onlinetrade.ru/catalogue/poe_oborudovanie-c723/sc_t/povtoritel_gigabit_ethernet_sc_t_sr01x-2641702.html) (дата обращения: 03.05.2026).
3. Медиаконвертер TP-Link MC100CM // URL:  
[https://www.onlinetrade.ru/catalogue/mediakonvertery-c4996/tp\\_link/mediakonverter\\_tp\\_link\\_mc100cm-1367138.html](https://www.onlinetrade.ru/catalogue/mediakonvertery-c4996/tp_link/mediakonverter_tp_link_mc100cm-1367138.html) (дата обращения: 03.05.2026).
4. Медиаконвертер TP-LINK MC111CS // URL:  
[https://www.onlinetrade.ru/catalogue/mediakonvertery-c4996/tp\\_link/mediakonverter\\_tp\\_link\\_mc111cs-138328.html](https://www.onlinetrade.ru/catalogue/mediakonvertery-c4996/tp_link/mediakonverter_tp_link_mc111cs-138328.html) (дата обращения: 03.05.2026).
5. Медиаконвертер TP-LINK MC112CS // URL:  
[https://www.onlinetrade.ru/catalogue/mediakonvertery-c4996/tp\\_link/mediakonverter\\_tp\\_link\\_mc112cs-138329.html](https://www.onlinetrade.ru/catalogue/mediakonvertery-c4996/tp_link/mediakonverter_tp_link_mc112cs-138329.html) (дата обращения: 03.05.2026).
6. Оптический Патч-корд, Дроп кабель FTTH, SC/APC-SC/APC, 1000 м. // URL:  
[https://www.ozon.ru/product/opticheskiy-patch-kord-drop-kabel-ftth-sc-apc-sc-apc-1000-m-3028938368/?\\_rt=1&abt\\_att=1](https://www.ozon.ru/product/opticheskiy-patch-kord-drop-kabel-ftth-sc-apc-sc-apc-1000-m-3028938368/?_rt=1&abt_att=1) (дата обращения: 03.05.2026).
7. Инжектор PoE Wi-Tek WI-POE51-48V // URL: <https://www.dns-shop.ru/product/221eacea4ac41b80/inzektor-poe-wi-tek-wi-poe51-48v/> (дата обращения: 03.05.2026).
8. Кабель витая пара уличный FTP 5е 305 м // URL: <https://www.ozon.ru/product/vitaya-para-kabel-ulichnyu-ftp-5e-kabel-ekranirovannyyu-vitaya-para-305m-cca-4pr-8zhil-1727879745/> (дата обращения: 20.05.2026).
9. Куликова Н.Н., Охрименко О.В., Стрижаков Д.И., Ищенко А.В. Проектирование системы IP-видеонаблюдения технического центра ООО «АВТОРИТЕТ» // Современные проблемы физики, биофизики и инфокоммуникационных технологий. – 2022. – 10с.
10. Анализ существующих систем охранного телевидения и видеонаблюдения с позиций построения и используемых технологий передачи информации // Материалы Международной научно-практической конференции. – Воронеж: Воронежский институт ФСИН России, 2021. – Т. 4. – С. 189-193.
11. Кобзистый, С. Ю. Анализ угроз безопасности при передаче информации в современных системах охранного телевидения и видеонаблюдения // Будущее науки-2021. 2021. Том 4, С. 193-197.
12. Ребус И.М., Колкер А.Б., Французова Г.А. Проектирование программной реализации медиаконвертера для интерфейса передачи данных SBNI // Системы анализа и обработки данных. 2025. Том 98, № 2. С. 81–92

