

УДК: 351.817

**Волков Д. И.**

**студент**

**РУТ (МИИТ), ИТТСУ, кафедра «Автоматика, телемеханика и связь  
на железнодорожном транспорте»**

**Россия, Москва**

**Илюшин Д. А.**

**студент**

**РУТ (МИИТ), ИТТСУ, кафедра «Автоматика, телемеханика и связь  
на железнодорожном транспорте»**

**Россия, Москва**

**Volkov D. I.**

**student**

**RUT (MIIT), ITTSU, Department of Automation, Telemechanics and  
Communication in Railway Transport**

**Moscow, Russia**

**Ilyushin D. A.**

**student**

**RUT (MIIT), ITTSU, Department of Automation, Telemechanics and  
Communication in Railway Transport**

**Moscow, Russia**

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ WDM В МИРЕ**

**PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF WDM**

**TECHNOLOGY IN THE WORLD**

#### **Аннотация**

*В статье рассматриваются современные технологии мультиплексирования на основе разделения длин волн (Wavelength Division Multiplexing, WDM), которые играют ключевую роль в развитии оптических сетей связи. Особое внимание уделено анализу методов*

*CWDM и DWDM, их техническим особенностям, преимуществам и ограничениями. Проведен анализ влияния данных технологий на пропускную способность сетей и рассмотрены перспективы их дальнейшего развития в условиях увеличения глобального интернет-трафика.*

### **Annotation**

*The article discusses modern multiplexing technologies based on wavelength Division Multiplexing (WDM), which play a key role in the development of optical communication networks. Special attention is paid to the analysis of CWDM and DWDM methods, their technical features, advantages and limitations. The analysis of the impact of these technologies on network bandwidth is carried out and the prospects for their further development in the context of increasing global Internet traffic are considered.*

**Ключевые слова:** *мультиплексирование, WDM, CWDM, DWDM, оптические сети, пропускная способность, телекоммуникации.*

**Keywords:** *multiplexing, WDM, CWDM, DWDM, optical networks, bandwidth, telecommunications.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Современное общество предъявляет всё более высокие требования к качеству и скорости передачи данных, что связано с цифровизацией практически всех сфер жизни, от медицины и образования до промышленности и развлекательной индустрии. В ответ на эти вызовы телекоммуникационные компании активно внедряют новые технологии, среди которых Wavelength Division Multiplexing (WDM) занимает центральное место. Эта технология позволяет значительно расширить пропускную способность оптических сетей за счёт использования уникальных длин волн для передачи нескольких сигналов через одно оптоволокно.

Популярность WDM обусловлена её уникальной способностью адаптироваться к растущим объемам трафика. Например, в условиях массового внедрения видеоконференций, облачных технологий и систем интернета вещей необходимость в быстрых, масштабируемых и надёжных сетях становится первостепенной. В этом контексте анализ методов CWDM и DWDM приобретает особую актуальность, поскольку они предлагают различные подходы к решению задач передачи данных.

Технология WDM базируется на физическом принципе разделения спектра света. Каждый сигнал передаётся на определённой длине волны, которая рассматривается как отдельный канал данных. Это напоминает использование радиочастот в беспроводной связи, где каждая частота представляет собой независимый поток информации [1].

Практическое применение WDM начинается с преобразования электрического сигнала в оптический, который затем направляется через мультиплексор, объединяющий сигналы различных длин волн в один поток. На приёмной стороне демультиплексор выполняет обратную операцию, разделяя объединённый поток на составляющие сигналы.

Такой подход имеет множество преимуществ, включая экономию ресурсов: одно оптическое волокно может быть использовано для передачи данных, которые ранее требовали бы несколько кабелей. Например, в городских сетях оптоволоконная инфраструктура с использованием WDM позволяет значительно снизить затраты на её эксплуатацию.

Технологии CWDM и DWDM представляют собой два подхода к реализации WDM, различающиеся как техническими, так и экономическими характеристиками.

CWDM, или упрощённое мультиплексирование, предназначено для сетей с меньшей нагрузкой. Эта технология отличается низкими затратами на оборудование, поскольку использует широкие интервалы между длинами волн (20 нм). Однако в этом же кроется её ограничение: CWDM

поддерживает меньшее число каналов, что делает её менее подходящей для магистральных сетей. Например, в городских и пригородных сетях CWDM широко используется для подключения частных пользователей и небольших организаций.

В отличие от CWDM, DWDM ориентирован на высоконагруженные сети, такие как межконтинентальные магистрали. Благодаря меньшим интервалам между длинами волн (около 0,8 нм) DWDM может поддерживать до 160 каналов, обеспечивая передачу терабит данных в секунду [2]. Такая плотность сигналов требует более сложного и дорогого оборудования, однако позволяет полностью раскрыть потенциал оптических сетей. Например, магистральные провайдеры, такие как AT&T и Level 3, активно используют DWDM для передачи данных между дата-центрами.

Использование WDM оказывает значительное влияние на пропускную способность сетей, обеспечивая эффективное использование доступного спектра. В условиях растущей нагрузки, вызванной увеличением объема потокового видео, онлайн-игр и облачных сервисов, внедрение WDM стало стратегически важным решением для операторов связи [3].

Одним из основных преимуществ WDM является способность значительно увеличивать плотность данных в одной линии. Технологии WDM стали важным элементом телекоммуникационной инфраструктуры, обеспечивая её адаптацию к постоянно растущим объемам данных. Например, в сетях 5G, где критически важны высокая скорость и минимальные задержки, DWDM играет ключевую роль. Эта технология не только обеспечивает эффективную передачу данных между базовыми станциями и ядром сети, но и позволяет оптимизировать ресурсы для работы с огромным числом подключенных устройств. В то же время CWDM, благодаря своей экономичности, остается популярным выбором

для менее нагруженных региональных сетей, где стоимость оборудования играет важнейшую роль.

Однако дело не только в экономии ресурсов. Применение WDM открывает новые возможности для гибкости сетевого управления. У операторов появляется способность добавлять каналы передачи данных практически «на лету», без необходимости полной модернизации инфраструктуры. Такой подход оказался особенно полезным в непредвиденных обстоятельствах, например, во время пандемии COVID-19. Внезапный рост спроса на интернет-услуги поставил многие сети под угрозу перегрузки, однако использование WDM позволило быстро масштабировать мощности и обеспечить стабильную работу сервисов [4], [5].

Будущее технологий WDM — это не просто увеличение пропускной способности, а переход к принципиально новым подходам передачи данных. Когерентные системы передачи, основанные на фазовой модуляции, способны радикально изменить парадигму оптической связи. С их помощью можно значительно увеличить плотность сигналов, что обеспечит ещё большую эффективность магистральных линий при минимальных затратах на инфраструктуру. Эти разработки уже находят своё применение, хотя и требуют серьёзных инвестиций в исследования.

Не менее перспективным направлением является интеграция WDM с квантовыми коммуникациями. Сегодня безопасность данных становится одной из ключевых проблем. Использование квантовых технологий в сочетании с WDM может не только улучшить защиту от кибератак, но и вывести телекоммуникации на новый уровень надёжности. Представьте себе сети, в которых попытка перехвата данных становится практически невозможной — такие технологии перестают быть фантазией и становятся реальностью.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, технологии Wavelength Division Multiplexing продолжают оставаться неотъемлемой частью как современной, так и будущей телекоммуникационной экосистемы. Их адаптивность, масштабируемость и перспективы развития обеспечивают им ключевое место в удовлетворении запросов на высокоскоростную и безопасную передачу данных. Интеграция с инновациями, такими как когерентные системы и квантовые коммуникации, обещает превратить WDM в инструмент, способный поддерживать самые амбициозные проекты цифровой эпохи.

#### **Использованные источники:**

1. Спектральное уплотнение каналов [Электронный ресурс] // Википедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Спектральное\\_уплотнение\\_каналов](https://ru.wikipedia.org/wiki/Спектральное_уплотнение_каналов) (дата обращения: 28.11.2024).
2. Новая технология мультиплексирования каналов – Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) [Электронный ресурс] // Современные научные исследования и инновации. 2017. № 5. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2017/05/81893> (дата обращения: 28.11.2024).
3. Четыре типа мультиплексирования с разделением по длине волны (WDM) [Электронный ресурс] // FiberMall. URL: <https://www.fibermall.com/ru/blog/types-of-wavelength-division-multiplexing-wdm.htm> (дата обращения: 28.11.2024).
4. Понимание пассивного WDM в современных оптических сетях [Электронный ресурс] // FiberMall. URL: <https://www.fibermall.com/ru/blog/passive-wdm.htm> (дата обращения: 28.11.2024).
5. CWDM- и DWDM-системы уплотнения каналов — связь на высоких скоростях [Электронный ресурс] // 2TEST. URL: <https://2test.ru/publikatsii/stati/cwdm-i-dwdm-sistemy-uplotneniya-kanalov-svyaz-na-vysokikh-skorostyakh/> (дата обращения: 28.11.2024).