

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ  
МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Салимов Бейбарыс

«Мультиплекстеу технологияларын қолдану арқылы оптикалық талшықтық  
желілердің тиімділігін талдау»

**ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

6B06201 - Телекоммуникациялар

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ  
МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Мультиплекстеу технологияларын қолдану арқылы оптикалық  
талшықтық желілердің тиімділігін талдау»

6B06201 – Телекоммуникациялар

Орындаған:

Б.Салимов

Рецензент:

Ғ. Дәукеев атындағы Алматы ЭЖБУ  
«Энергиямен қамтамасыз ету, электр  
жетегі және электротехника»  
кафедрасының меңгерушісі, PhD докторы  
Шошабаев Ж.Шыныбай

«20» 05 2025 ж.

Ғылыми жетекші  
техн. ғыл. кандидаты,  
ЭТЖҒТ каф. қауымдастырылған  
профессоры

Дараев А.М. А.М.Дараев

«20» 05 2025 ж.

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ  
МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыш технологиялар кафедрасы

6B06201 – Телекоммуникациялар



**БЕКІТЕМІН**

ЭТ ж ҒТ кафедра меңгерушісі

техн. ғыл. канд.

Е. Таптай

« 03 » 01 2025 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға  
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Салимов Бейбарыс.

Тақырыбы: «Мультиплекстеу технологияларын қолдану арқылы  
оптикалық талшықтық желілердің тиімділігін талдау».

Университет ректорының «29» қаңтар 2025 ж. № 26 П/Ө бұйрығымен  
бекітілген

Аяқталған жобаны тапсыру мерізімі «15» мамыр 2025 ж.

Жұмыстың бастапқы мәліметтері:

- 1) Бірмодалы оптикалық талшықтар, сигнал қуаты 3 дБ;
- 2) Өлшеу ұзындығы: 300 м, 1050 м.
- 3) Өшулігі 0.2 дБ/км.
- 4) Спектрлік диапазон: 1270–1610 нм.
- 5) Арналар саны: 4–8 (CWDM), 16 (DWDM);
- 6) Бастапқы өткізу қабілеті: 10 Гбит/с. Энергия тұтыну: 1 Гбит/с  
деректерге 2 Вт.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) Оптикалық талшықтық желілердің қазіргі жағдайын зерттеу.
- б) Мультиплекстеу әдістерінің теориялық негіздерін талдау.
- в) Әр түрлі мультиплекстеу технологияларының тиімділігін салыстыру.
- г) Оптикалық талшықтық желіде мультиплекстеудің оңтайлы түрін таңдау.
- д) Зерттеу нәтижелері негізінде ұсыныстар беру.

Сызбалық материалдар 15 слайдпен ppt форматында көрсетілуі керек.

Ұсынылатын негізгі әдебиет:

1. Gerd Keiser. Optical Fiber Communications. McGraw Hill, 2015. -150 с.
2. Govind P. Agrawal. Fiber-Optic Communication Systems. Wiley-Interscience, 2016. – 10 с.

Дипломдық жұмысты дайындау

### КЕСТЕСІ

| Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі                | Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерізімі | Ескерту          |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------|
| Мультиплекстеу әдістерінің салыстырмалы талдауы.               | 1.02.2025 ж. -<br>21.02.2025 ж.                     | <i>орындауға</i> |
| Оптикалық желілерде мультиплекстеудің тиімді тәсілдерін ұсыну. | 21.02.2025 ж. -<br>01.03.2025 ж.                    | <i>орындауға</i> |
| Теориялық және тәжірибелік нәтижелер бойынша қорытындылар.     | 01.03.2025 ж. -<br>14.05.2025 ж.                    | <i>орындауға</i> |

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа(жобаға) қойған

### қолтаңбалары

| Бөлімдер атауы                          | Кеңесшілер<br>(аты, әкесінің аты, тегі,<br>ғылыми дәрежесі, атағы)         | Қол<br>қойылған<br>күні | Қолы           |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------|
| Диплом<br>жұмысының<br>тақырыбын талдау | Техн.ғыл.канд., ЭТЖҒТ<br>каф.қауымдастырылған<br>профессоры<br>Дараев А.М. | 1.02.25                 | <i>Дараев</i>  |
| Теориялық ақпарат                       | Техн.ғыл.канд., ЭТЖҒТ<br>каф.қауымдастырылған<br>профессоры<br>Дараев А.М. | 1.03.25                 | <i>Дараев</i>  |
| Норма<br>бақылау                        | ЭТЖҒТ каф.аға оқытушысы<br>Досбаев Ж.М.                                    | 29.05.25                | <i>Досбаев</i> |

Ғылыми жетекшісі

*Дараев*

А.М.Дараев

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

*Салимов*

Б.Салимов

Күні « 19 » 02 2025 ж.

## **АНДАТПА**

Қазіргі заманғы телекоммуникация саласы ақпарат тасымалдаудың жоғары жылдамдығы мен сапасына мұқтаж. Оптикалық талшықтық желілер осы талаптарға сай келетін заманауи шешімдердің бірі болып табылады. Бұл жұмыстың негізгі мақсаты – мультиплекстеу әдістерінің оптикалық желілерге ықпалын кешенді түрде зерттеу және олардың тиімділігін дәлелдеу.

Оптикалық талшықтық байланыс қазіргі телекоммуникациялық инфрақұрылымның негізгі элементіне айналды. Өткізу қабілеті мен сенімділік талаптары артқан сайын мультиплекстеу технологияларын қолдану өзекті бола түсуде. Бұл жұмыстың мақсаты – мультиплекстеудің түрлі әдістерін (TDM, WDM, OFDM, SDM) талдау арқылы желінің тиімділігін бағалау.

## **АННОТАЦИЯ**

Современная телекоммуникационная отрасль нуждается в высокой скорости и качестве передачи информации. Оптоволоконные сети являются одним из современных решений, отвечающих этим требованиям. Основная цель данной работы-комплексное исследование влияния методов мультиплексирования на оптические сети и доказательство их эффективности. Оптоволоконная связь стала ключевым элементом современной телекоммуникационной инфраструктуры. По мере повышения требований к пропускной способности и надежности применение технологий мультиплексирования становится все более актуальным. Целью данной работы является оценка эффективности сети путем анализа различных методов мультиплексирования (TDM, WDM, OFDM, SDM).

## **ANNOTATION**

The modern telecommunications industry needs high speed and quality of information transfer. Optical fiber networks are one of the modern solutions that meet these requirements. The main goal of this work is to comprehensively study the influence of multiplexing methods on optical networks and prove their effectiveness. Optical fiber communication has become the main element of modern telecommunications infrastructure. As bandwidth and reliability requirements increase, the use of multiplexing technologies is becoming more and more relevant. The purpose of this work is to evaluate the efficiency of the network by analyzing various multiplexing methods (TDM, WDM, OFDM, SDM).

## МАЗМҰНЫ

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Кіріспе                                                                 | 7  |
| 1 Мультиплекстеу технологияларының теориялық негіздері                  | 8  |
| 1.1 TDM жұмыс принципі                                                  | 8  |
| 1.2 Мультиплекстеу технологияларының даму тарихы мен заманауи трендтері | 14 |
| 1.3 OFDM және сымсыз байланыс эволюциясы                                | 15 |
| 2 Оптикалық талшықтық желілердің құрылымы мен сипаттамалары             | 17 |
| 2.1 Оптикалық талшықтық желілердің құрылымы мен сипаттамалары           | 17 |
| 2.2 Оптикалық компоненттер                                              | 18 |
| 3 Мультиплекстеу технологияларын қолдану арқылы тиімділікті арттыру     | 21 |
| 3.1 WDM және DWDM технологиялары                                        | 21 |
| 3.2 Қолдану аймағы мен практикалық шешімдер                             | 24 |
| 4 Математикалық модельдеу және тиімділік талдауы                        | 25 |
| 4.1 Мультиплекстеу кезіндегі жалпы өткізу қабілетін есептеу формулалары | 25 |
| 4.2 Симуляциялық модель (OptiSystem немесе MATLAB көмегімен)            | 25 |
| 4.3 Нәтижелерді визуализациялау (графиктер мен диаграммалар)            | 26 |
| Қорытынды                                                               | 38 |
| Пайдаланылған әдебиеттер тізімі                                         | 39 |

## КІРІСПЕ

Қазіргі заманғы телекоммуникация саласы ақпарат тасымалдаудың жоғары жылдамдығы мен сапасына мұқтаж. Оптикалық талшықтық желілер осы талаптарға сай келетін заманауи шешімдердің бірі болып табылады. Алайда бұл желілердің өткізу қабілетін арттыру және ресурстарды тиімді пайдалану мақсатында мультиплекстеу технологияларын қолдану қажеттілігі туындайды. Бұл жұмыстың негізгі мақсаты – мультиплекстеу әдістерінің оптикалық желілерге ықпалын кешенді түрде зерттеу және олардың тиімділігін дәлелдеу.

Оптикалық талшықтық байланыс қазіргі телекоммуникациялық инфрақұрылымның негізгі элементіне айналды. Өткізу қабілеті мен сенімділік талаптары артқан сайын мультиплекстеу технологияларын қолдану өзекті бола түсуде. Бұл жұмыстың мақсаты – мультиплекстеудің түрлі әдістерін (TDM, WDM, OFDM, SDM) талдау арқылы желінің тиімділігін бағалау.

1950–60 жылдары аналогтық FDM әдісі қолданылды. 1962 жылы TDM негізіндегі T1 жүйесі пайда болды. 1990-жылдары WDM, кейін DWDM технологиялары дамып, 2000-жылдары OFDM цифрлық және сымсыз байланыста қолданыла бастады. Соңғы онжылдықта SDM – кеңістіктік мультиплекстеу қарқынды дамуда.

Оптикалық талшық үш қабаттан тұрады: ядро, қаптама және қорғаныс. Бірмодалы және көпмодалы талшықтар қолданылады. Маңызды сипаттамаларға сигнал әлсіреуі (0.2–0.35 дБ/км), дисперсия, сыну көрсеткіші және модуляция әдістері жатады.

WDM технологиясы 80 арна арқылы 800 Гбит/с өткізу қабілетін қамтамасыз етеді. TDM қарапайым, нақты уақыт қызметтеріне тиімді. OFDM – спектралдық тиімділігі жоғары әдіс. SDM – кеңістікті пайдалану арқылы өткізу мүмкіндігін бірнеше есеге арттырады. Барлық әдістердің салыстырмалы артықшылықтары мен шектеулері бар.

Зерттеу мақсатына қол жеткізу үшін келесі нақты міндеттер қойылды:

- WDM мультиплекстеу технологиясының теориялық негіздерін зерттеу;
- әртүрлі модуляция түрлерінің сипаттамаларын салыстыру;
- 16-QAM, 64-QAM және OFDM технологияларының өткізу қабілеті, спектралдық тиімділігі және SNR талаптарын талдау;
- жүйенің жалпы өткізу қабілетін есептеу және визуализациялау;
- сигнал сапасына әсер ететін факторларды зерттеу (BER, SNR, шағылу);
- энергия тиімділігін есептеу.

## 1 Мультиплекстеу технологияларының теориялық негіздері

Уақыт бойынша мультиплекстеу (TDM – Time Division Multiplexing) – бір арна арқылы бірнеше дерек көздерінің сигналдарын уақыттық интервалдарға бөліп жіберуге мүмкіндік беретін технология. Бұл әдісте әрбір дерек көзіне нақты уақыттық слот бөлінеді, сол аралықта тек бір ғана сигнал арна арқылы өтеді. Уақыттық интервалдар кезекпен қайталанып, циклдік түрде ұйымдастырылады.

TDM екі негізгі түрге бөлінеді: синхронды және асинхронды (статистикалық). Синхронды TDM кезінде әрбір арнаға уақытша интервал тіркеліп беріледі, тіпті егер ол дерек жібермесе де, сол уақыт босқа өтеді. Бұл әдістің қарапайымдылығы артықшылық болып саналса, желі ресурстарының тиімсіз пайдаланылуы кемшілігі ретінде көрінеді. Ал асинхронды TDM-де тек белсенді арналарға ғана уақыт интервалдары бөлінеді, бұл өткізу қабілетін айтарлықтай арттырады.

TDM технологиясы көбіне цифрлық жүйелерде – мысалы, телефон байланысында немесе оптикалық желілерде қолданылады. Мысалы, бір 155 Мбит/с STM-1 (Synchronous Transport Module) желісінде 63 түрлі 2 Мбит/с арна TDM көмегімен тасымалдана алады. Мұндай тәсіл желі инфрақұрылымын оңтайлы пайдаланып, көптеген арналарға қызмет көрсетуге мүмкіндік береді.

Уақыт бойынша мультиплекстеу (TDM – Time Division Multiplexing) – бұл бір физикалық арна арқылы бірнеше ақпараттық ағынды тасымалдауға мүмкіндік беретін әдіс. Бұл тәсілде әрбір ақпараттық ағынға белгілі бір уақыттық интервал (time slot) бөлінеді. Интервалдар ретімен кезектесіп, біртұтас цикл (frame) құрайды, содан кейін цикл қайталанып отырады. Әрбір дерек көзі өзіне тиесілі уақытша интервалда ғана арнаны пайдалана алады.

### 1.1 TDM жұмыс принципі

TDM технологиясы екі негізгі түрге бөлінеді:

Синхронды TDM (STDM): барлық дерек көздеріне уақыттық интервал алдын ала және тұрақты түрде бөлінеді. Егер бір арна дерек жібермесе де, оған бөлінген уақыт бос өтеді.

Асинхронды немесе статистикалық TDM: уақыттық интервалдар тек белсенді арналарға ғана беріледі. Бұл желінің өткізу қабілетін тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

TDM жүйесінің өткізу қабілеті

TDM жүйесінде жалпы өткізу қабілеті келесі формуламен анықталады:

$$C_{total} = N \times RC \quad (1.1)$$

мұндағы  $C_{total}$  – мультиплекстелген арнаның жалпы өткізу қабілеті (бит/с);

$N$  – арналар саны;

$R_C$  – бір арнаның өткізу қабілеті (бит/с).

Егер әрбір арна 2 Мбит/с жылдамдықпен жұмыс істесе және жүйеде 16 арна болса, онда:

$$C_{total} = 16 \times 2 = 32 \text{ Мбит/с}$$

Қолданылу салалары:

- телефон байланысы (цифрлық телефония);
- SDH/SONET желілері;
- радио және спутниктік байланыс;
- цифрлық телехабар тарату.

Кесте 1.1 – Артықшылықтары мен кемшіліктері

| Артықшылықтар                                     | Кемшіліктер                                               |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Жүйе құрылымы қарапайым                           | Синхронды TDM кезінде бос интервалдар – ресурстар ысырабы |
| Бір арнада бірнеше ағынды тиімді басқаруға болады | Уақыттық синхрондауды қажет етеді                         |
| Жоғары сенімділік                                 | Белсенді емес арналарда артық трафик болады               |

Егер TDM процесін уақытша шкалада бейнелесек, мысалы:

- TDM цикл ұзақтығы: 8 мс
- Әр арнаға 1 мс интервал
- 8 арна: A, B, C, ..., H

TDM Time Slot диаграммасы:

- mathematica
- Цикл 1: | A | B | C | D | E | F | G | H |
- Цикл 2: | A | B | C | D | E | F | G | H |

Мұнда әрбір арна өзіне тиесілі уақыт интервалында ғана дерек жібереді.

Бұл схема жүйенің қатаң тәртіппен жұмыс істейтінін көрсетеді.

Толқын ұзындығы бойынша мультиплекстеу (WDM – Wavelength Division Multiplexing) - бұл оптикалық талшық арқылы бірнеше жарық сигналын әртүрлі толқын ұзындықтарында (яғни, түстерде) бір мезгілде беру әдісі. Бұл технология спектралдық ресурстарды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді және бір талшық арқылы ондаған, тіпті жүздеген дерек ағынын жіберуге жол ашады.

1. WDM жұмыс принципі.

WDM жүйесінде әрбір дерек ағынына белгілі бір толқын ұзындығы ( $\lambda$ ) бөлінеді. Арнайы мультиплексор құрылғысы осы сигналдарды біріктіріп, бір оптикалық талшыққа жібереді. Қабылдаушы жақта демультиплексор

құрылғысы бұл сигналдарды қайта ажыратып, әрбір арнаға өзіне тиесілі толқын ұзындығындағы сигналды бағыттайды.

## 2. WDM түрлері.

CWDM (Coarse WDM) – кең диапазонды, 18 арнаға дейін (толқын ұзындығы 1270–1610 нм), арналар арасындағы интервал 20 нм.

DWDM (Dense WDM) – тығыз орналасқан, 80-160 арнаға дейін (толқын ұзындығы 1525–1565 нм), интервал 0.8 нм-ге дейін, өткізу қабілеті өте жоғары.

U-DWDM (Ultra-Dense WDM) – жаңа буын технологиясы, 200 арнадан да жоғары, интервал < 0.4 нм.

## 3. Математикалық сипаттама

Жүйенің жалпы өткізу қабілеті келесі формуламен анықталады:

$$C_{total} = N \times RC_{total} \quad (1.2)$$

мұндағы  $C_{total}$  - жалпы өткізу қабілеті (бит/с);

$N$  - WDM арналар саны;

$R$  - әр арнаның дерек беру жылдамдығы (бит/с).

Егер әрбір арна 10 Гбит/с жылдамдықпен жұмыс істесе және DWDM жүйесінде 80 арна болса, онда:

$$C_{total} = 80 \times 10 = 800 \text{ Гбит/с}$$

## 4. Қолданылу салалары:

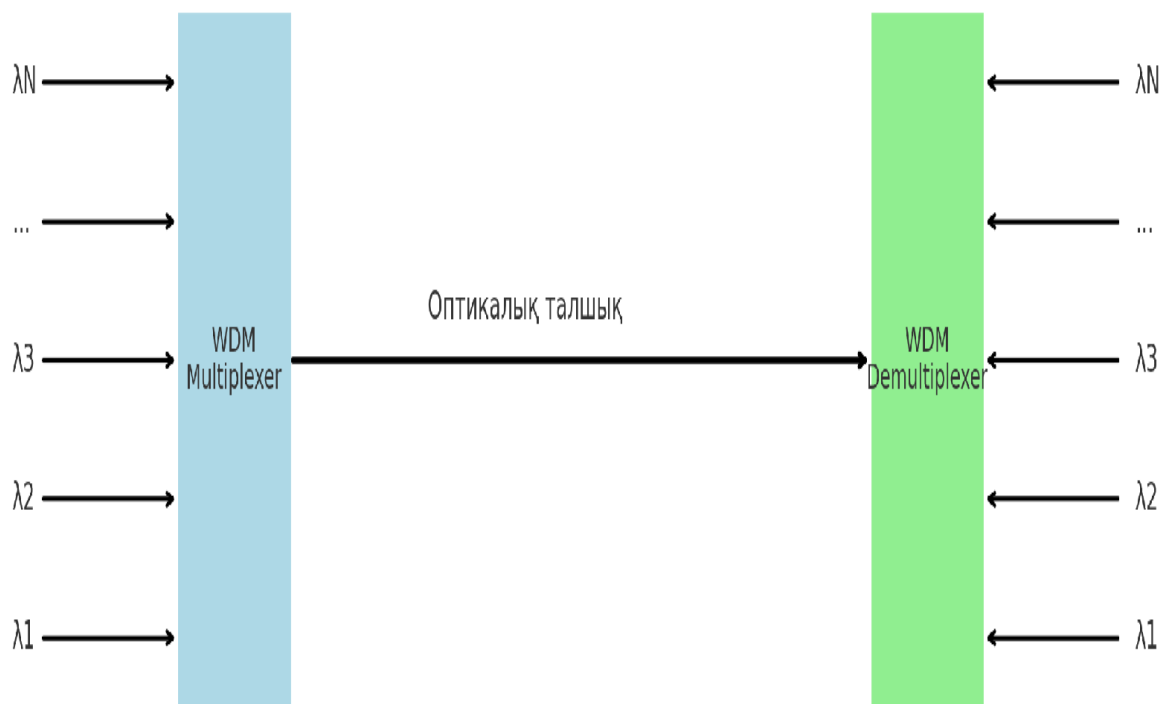
- магистральдық байланыс желілері;
- Халықаралық интернет трафиктерін өткізу;
- ғылыми зерттеу желілері (мыс., GEANT, Internet2);
- бұлтты деректер орталықтарының арасындағы байланыс.

## Кесте 1.2 – Артықшылықтары мен кемшіліктері

| Артықшылықтар                                               | Кемшіліктер                                         |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Өткізу қабілеті өте жоғары (бір талшықта бірнеше терабит/с) | Құны жоғары DWDM құрылғылары                        |
| Талшық ресурстарын тиімді пайдалану                         | Спектралды сәйкестік пен синхрондау талаптары       |
| Ұзақ қашықтыққа сигнал беруге болады (регенерациясыз)       | Температура және дисперсиялық әсерлерге сезімталдық |

## 6. Сызбалық сипаттама (түсіндірме).

WDM мультиплексор мен демультиплексор арасындағы сигнал ағыны былайша сипатталады:



1.1-сурет – WDM мультиплексор мен демультимплексор арасындағы сигнал ағыны

Толқын ұзындығы бойынша мультиплекстеу – қазіргі заманғы телекоммуникация инфрақұрылымының негізгі технологияларының бірі. Ол бір ғана оптикалық талшық арқылы жүздеген гигабит, тіпті терабит жылдамдықта деректерді тасымалдауға мүмкіндік береді. WDM – болашақтың цифрлық инфрақұрылымына арналған қуатты шешім.

Фазалық және амплитудалық мультиплекстеу (OFDM).

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – ортогоналды жиілік бойынша бөлінетін мультиплекстеу) – бұл деректерді бірнеше тар жиілікті ортогоналды тасымалдаушыларға бөліп, оларды параллель түрде жіберуге негізделген көп арналы модуляция әдісі. OFDM қазіргі заманғы цифрлық байланыс жүйелерінде кеңінен қолданылады, әсіресе жоғары жылдамдықты және кедергілерге тұрақты жүйелерде.

1. OFDM технологиясының жұмыс принципі.

OFDM жүйесінде ақпарат бір уақытта көптеген тар жиілікті арналар арқылы беріледі. Бұл арналар бір-бірімен ортогоналды (яғни, өзара тәуелсіз) болғандықтан, олар спектрлік жағынан бір-біріне кедергі келтірмейді. Әрбір арнада сигнал амплитудалық және фазалық модуляция көмегімен тасымалданады (мысалы, QAM – Quadrature Amplitude Modulation арқылы).

OFDM сигналы әдетте келесі түрде қалыптасады:

- a) Бастапқы деректер биттерге бөлінеді;
- b) Әрбір бит тобы модуляцияланады (QAM, PSK);
- c) IFFT (кері жылдам Фурье түрлендіру) көмегімен барлық жиіліктерге таратылады;

d) Алынған сигнал оптикалық жүйе немесе радиоарна арқылы беріледі.

Математикалық сипаттама.

OFDM сигналының жалпы формуласы:

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi f_k t} \quad (1.3)$$

мұндағы  $X_k$  – әрбір жиіліктегі модуляцияланған дерек;

$f_k$  – ортогоналды жиіліктер;

$N$  – жалпы арна саны;

$t$  – уақыт.

Кесте 1.3 – OFDM технологиясының Артықшылықтары мен кемшіліктері

| Артықшылықтар                                           | Кемшіліктер                               |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Каналдағы кедергілер мен көпсәулелі шағылуларға төзімді | Синхрондау қателері сезімтал              |
| Жоғары спектралдық тиімділік                            | Күрделі есептеуіш ресурстарды қажет етеді |
| Бір уақытта бірнеше ағын жіберуге мүмкіндік береді      | Жоғары PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) |

4. Қолданылу салалары

OFDM келесі жүйелерде кеңінен қолданылады:

4G / 5G байланыс стандарттары (LTE, NR)

Wi-Fi (802.11a/g/n/ac)

DVB-T (цифрлық телехабар тарату)

Оптикалық байланыс жүйелері (DWDM + OFDM үйлесімі)

Егер 64 арна қолданылып, әрқайсысы 1 Мбит/с жылдамдықпен жұмыс істесе:

$$C_{total} = 64 \cdot 1 = 64 \text{ Мбит/с}$$

Сигналдар бір уақытта жіберіледі, бірақ жиіліктердің ортогоналдығы арқасында кедергі туындамайды.

6. Визуалды сипаттама.

OFDM арналық спектрі:

Markdown.

Жиілік осі:

Барлық жиіліктер ортогоналды түрде бір-бірін жабусыз қолданады.

OFDM – көп арналы мультиплекстеудің ең тиімді түрлерінің бірі. Оның көмегімен деректерді жоғары жылдамдықта және сенімді түрде тасымалдауға болады. Бұл әдіс қазіргі заманғы оптикалық және сымсыз жүйелердің

ажырамас бөлігіне айналды және болашақта да өзінің өзектілігін жоғалтпайды.

Кеңістіктік мультиплекстеу (SDM).

Кеңістіктік мультиплекстеу (SDM – Space Division Multiplexing) – оптикалық байланыс жүйелерінің өткізу қабілетін арттыруға арналған жаңа буын технологиясы. Бұл әдісте бір кабель ішінде бірнеше тәуелсіз оптикалық арналар немесе ядролар (cores) пайдаланылады немесе көпмодалы (multimode) талшықтардағы әртүрлі кеңістіктік модальар қолданылып, сигналдарды бір уақытта параллель түрде беруге мүмкіндік туады. SDM – WDM және TDM технологияларын кеңейтуге арналған қуатты қосымша құрал.

SDM технологиясының жұмыс принципі.

SDM технологиясында бірнеше жарық сигналдары әртүрлі кеңістіктік жолдармен беріледі. Бұл кеңістіктік арналар мынандай болуы мүмкін:

Бірнеше өзекше (core) бар көп ядролы талшықтар (Multicore Fiber – MCF)

Бір өзекшеде бірнеше мода тарататын көпмодалы талшықтар (Multimode Fiber – MMF).

Жеке физикалық талшықтар (бірнеше талшық параллель) болады. Бұл арналардың әрқайсысы бір-біріне тәуелсіз жұмыс істей алады, осылайша бір талшықты немесе кабельді тиімді пайдалану арқылы өткізу қабілеті бірнеше есе артады.

Математикалық сипаттама.

Жалпы өткізу қабілеті мына формуламен сипатталады:

$$C_{total} = N_S \cdot N_C \cdot RC \quad (1.4)$$

мұндағы  $N_S$  – кеңістіктік арналар саны (модальар, ядролар немесе талшықтар);

$N_C$  – әр арнадағы WDM немесе TDM арналар саны;

$R$  – бір арнаның жылдамдығы (бит/с).

Егер бір талшықта 7 ядро және әр ядро WDM арқылы 40 Гбит/с жылдамдықпен жұмыс істесе:

$$C_{total} = 7 \cdot 40 = 280 \text{ Гбит/с}$$

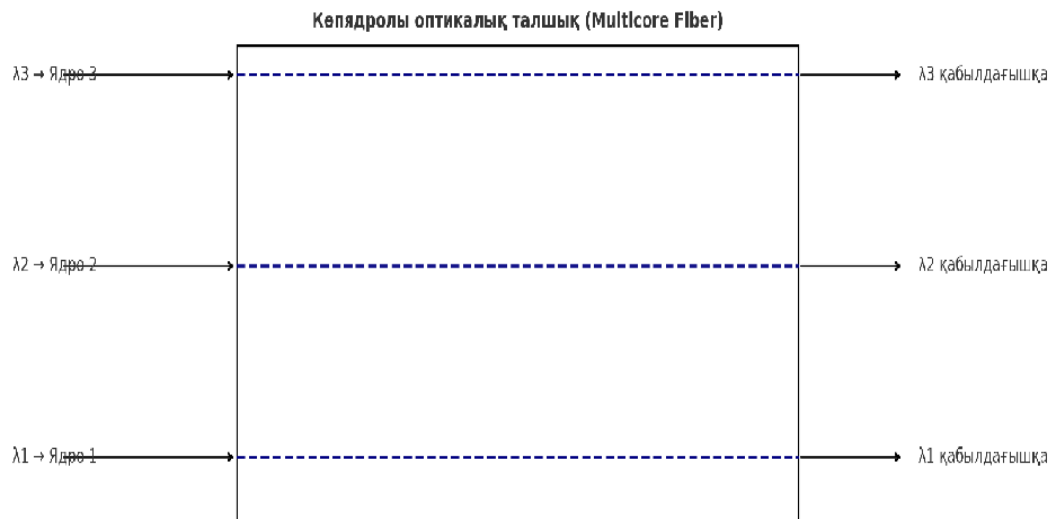
Кесте 1.4 – SDM технологиясының артықшылықтары мен кемшіліктері

| Артықшылықтар                                               | Кемшіліктер                                           |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Өткізу қабілеті өте жоғары (100 Тбит/с және одан да жоғары) | Модальар арасындағы кросс-сөйлесуді азайту қиын       |
| Талшық ресурстарын максималды пайдалану                     | Оптикалық жабдықтар мен күшейткіштерді күрделендіреді |
| Желіні масштабтау оңай                                      | Жаңа жабдық пен стандарттарды талап етеді             |

Қолданылу салалары:

- ұзақ қашықтықтағы магистральдық оптикалық желілер;
- ғылыми зерттеу желілері (мыс., эксперименттік трафик тасымалдау);
- деректер орталықтары арасында жоғары жылдамдықтағы байланыс;
- алдағы 6G және жоғары өткізу талаптарын қамтамасыз ету.

Қысқаша сызбалық сипаттама



1.2-сурет – SDM технологиясының жұмыс принципі

Сол жақта: әрбір толқын ұзындығы ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ) өз кеңістіктік арнасына (ядроға) бағытталады.

Ортасында: көпядролы оптикалық талшық арқылы барлық сигналдар параллель түрде өтеді.

Оң жақта: әрбір сигнал тиісті қабылдағышқа жетеді.

Бұл – SDM технологиясының кеңістіктік мультиплекстеу принципін қарапайым әрі нақты түсіндіретін сызба.

SDM - болашақтың оптикалық желілеріне арналған инновациялық шешім. Бұл әдіс кеңістіктік ресурстарды тиімді пайдалануға мүмкіндік беріп, қазіргі заманғы байланыс жүйелерінің өткізу қабілетін ондаған есе арттырады. WDM және OFDM секілді әдістермен бірге қолданылғанда, SDM технологиясы телекоммуникация саласында шексіз мүмкіндіктер ашады.

## 1.2 Мультиплекстеу технологияларының даму тарихы мен заманауи трендтері

Мультиплекстеу технологиялары – телекоммуникация саласындағы ақпаратты тиімді тасымалдауға бағытталған іргелі әдістердің бірі. Олардың пайда болу тарихы байланыс желілерінің дамуы мен техникалық жетілдірілуімен тығыз байланысты. XX ғасырдың ортасынан бастап

мультиплекстеу әдістері желілердің өткізу қабілетін арттырудың негізгі тетігіне айналды.

Уақыт бойынша мультиплекстеудің (TDM) басталуы.

1950–1960 жылдары аналогтық байланыс жүйелерінде бір кабель арқылы бірнеше сөйлесу арналарын жіберу қажеттілігі туындады. Бұл кезеңде TDM (Time Division Multiplexing) – уақыт бойынша мультиплекстеу әдісі пайда болды. Оның алғашқы қолданысы цифрлық телефон байланысында жүзеге асты. 1962 жылы Bell Labs компаниясы алғаш рет T1 желісін енгізіп, 24 сөйлесу арнасын 1.544 Мбит/с жылдамдықпен бір кабель арқылы жіберуге мүмкіндік берді. Бұл цифрлық дәуірдің бастамасы болды.

Жиілік бойынша мультиплекстеудің дамуы (FDM). Алғашқы мультиплекстеу әдістерінің бірі – жиілік бойынша мультиплекстеу (FDM) аналогтық сигналдарды бөлу үшін қолданылды. Бұл әдіс радиобайланыс және телевизиялық сигналдарды беру салаларында кеңінен қолданылды. 1980 жылдары аналогтық желілер біртіндеп цифрлыққа ауысқан кезде, FDM өз орнын TDM мен жаңа цифрлық технологияларға берді.

WDM технологиясының пайда болуы және дамуы.

1990 жылдардың басында толқын ұзындығы бойынша мультиплекстеу (WDM) технологиясы дами бастады. Оның негізінде әртүрлі жарық толқын ұзындығындағы сигналдарды бір талшық арқылы бір мезгілде жіберу идеясы жатыр. Алғашқыда тек 2–4 арна қолданылса, кейін DWDM (Dense WDM) пайда болып, 80–160 және одан көп арнаға дейін жеткізілді. Бұл технология 2000 жылдарда интернеттің қарқынды дамуына байланысты кеңінен қолданылды.

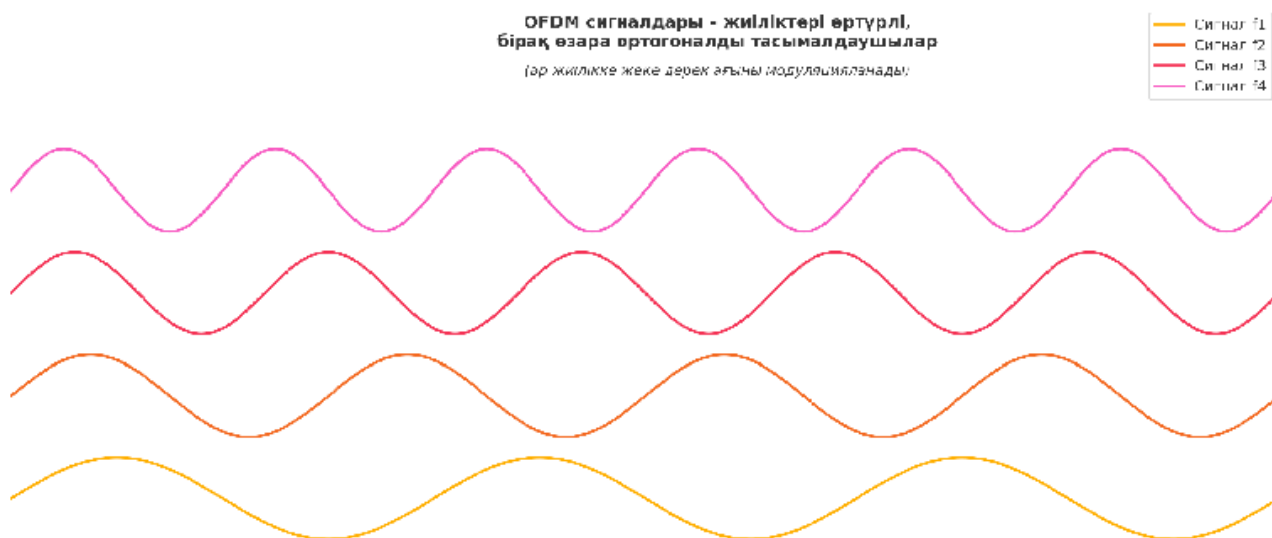
### **1.3 OFDM және сымсыз байланыс эволюциясы**

2000 жылдардың ортасынан бастап OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) – ортогоналды жиілік бойынша мультиплекстеу технологиясы дамыды. Ол Wi-Fi, LTE, DVB-T секілді заманауи жүйелердің негізіне айналды. OFDM – кедергілерге төзімділігімен және спектралдық тиімділігімен ерекшеленді, сондықтан ол сымсыз және оптикалық жүйелерде де қолданылуда.

SDM – кеңістіктік мультиплекстеудің заманауи кезеңі. Соңғы онжылдықта SDM (Space Division Multiplexing) – кеңістіктік мультиплекстеу пайда болды. Бұл әдіс бір талшық ішінде бірнеше ядро немесе мода арқылы бір уақытта көптеген сигнал жіберуге мүмкіндік береді. SDM – қазіргі таңда 100 Тбит/с-тан астам өткізу қабілетті жүйелер құрудың кілті болып отыр және 6G, кванттық байланыс секілді болашақ технологиялармен ұштасып дамуда.

Мультиплекстеу технологиялары қарапайым TDM мен FDM әдістерінен бастап, жоғары өткізу қабілетті DWDM, OFDM және SDM секілді заманауи шешімдерге дейін үздіксіз дамып келеді. Бұл эволюция телекоммуникациялық

инфрақұрылымның қарқынды кеңеюіне, жаһандық интернеттің қолжетімді болуына және ақпарат алмасудың сенімділігін қамтамасыз етуге сеп болды.



1.3-сурет – Ортогоналды жиілік бойынша мультиплекстеу

Міне, бұл сызбада OFDM (ортогоналды жиілік бойынша мультиплекстеу) технологиясының жұмыс принципі бейнеленген:

Әрбір қисық – өз жиілігінде орналасқан дербес ортогоналды сигнал ( $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $f_4$ ).

Бұл сигналдар бір уақытта беріледі, бірақ жиіліктік қабаттасусыз, яғни өзара кедергісіз жұмыс істейді.

Әр жиілікке бөлек ақпарат ағыны жүктеледі, бұл спектралдық тиімділікті арттырады.

## 2 Оптикалық талшықтық желілердің құрылымы мен сипаттамалары

### 2.1 Оптикалық талшықтық желілердің құрылымы мен сипаттамалары

Оптикалық талшықтық желілер – қазіргі заманғы жоғары жылдамдықты телекоммуникация инфрақұрылымының негізі болып табылады. Бұл желілерде ақпарат жарық сигналдары арқылы таратылады және олар мыс кабельдерге қарағанда әлдеқайда жоғары өткізу қабілетіне, сенімділікке және әлсіреу деңгейінің төмендігіне ие. Оптикалық жүйелердің тиімді жұмыс істеуі үшін олардың құрылымы мен физикалық сипаттамаларын терең түсіну қажет.

Оптикалық талшықтың құрылымы

Классикалық бірмодалы немесе көпмодалы талшық 3 негізгі қабаттан тұрады:

Ядро (Core): жарық сигналының таралу аймағы. Оның диаметрі шамамен 8–10 мкм (бірмодалыда) немесе 50–62.5 мкм (көпмодалыда).

Қаптама (Cladding): ядроны қоршап, жарықтың ядродан шықпай, ішкі толық шағылу арқылы таралуын қамтамасыз етеді. Ол ядродан төмен сыну көрсеткішіне ие.

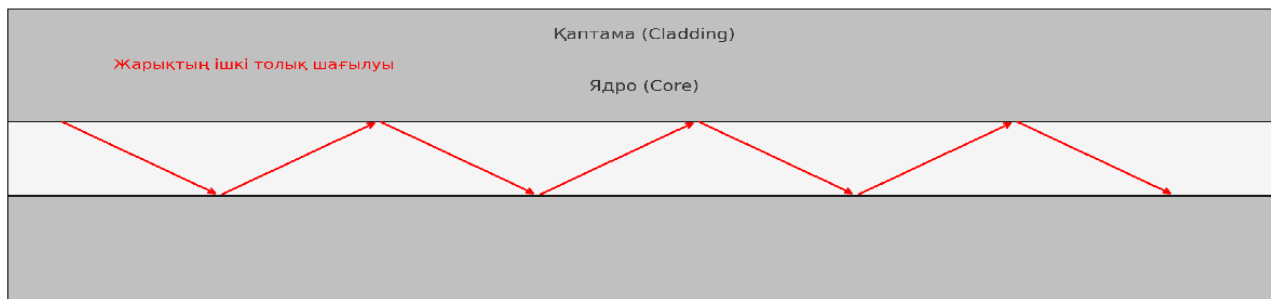
Қорғаныш қабаты (Coating/Buffer): талшықты сыртқы механикалық әсерлерден қорғауға арналған.



2.1-сурет – Оптикалық талшық

Оптикалық сигналдың таралу принципі.

Жарық сигналы талшықтың ядросы арқылы таралады және ядро мен қаптама арасындағы сыну көрсеткішінің айырмашылығының арқасында ішкі толық шағылу құбылысы орын алады. Бұл құбылыс жарықтың жоғалмай, үлкен қашықтыққа жетуін қамтамасыз етеді.



2.2-сурет – Оптикалық сигналдың таралу принципі

Кесте 2.1 – Талшық түрлері: бірмодалы және көпмодалы талшықтар сипаттамасы

| Критерий        | Бірмодалы талшық                      | Көпмодалы талшық                |
|-----------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Ядро диаметрі   | 8–10 мкм                              | 50–62.5 мкм                     |
| Толқын ұзындығы | 1310 нм, 1550 нм                      | 850 нм, 1300 нм                 |
| Қашықтық        | 10–100 км және одан жоғары            | 500 м – 2 км дейін              |
| Бағасы          | Қымбатырақ                            | Арзанырақ                       |
| Қолдану         | Магистральдық және қалааралық желілер | Ғимарат ішілік, кампус желілері |

Негізгі сипаттамалар.

Сигнал әлсіреуі (attenuation): Жарық сигналының қашықтыққа байланысты энергиясының төмендеуі. Өлшем бірлігі – дБ/км. Бірмодалы талшықта ол шамамен 0.2–0.35 дБ/км.

Дисперсия: Импульстің кеңеюі, бұл деректердің бұрмалануына алып келеді. Хроматикалық және модальдық дисперсия түрлері болады.

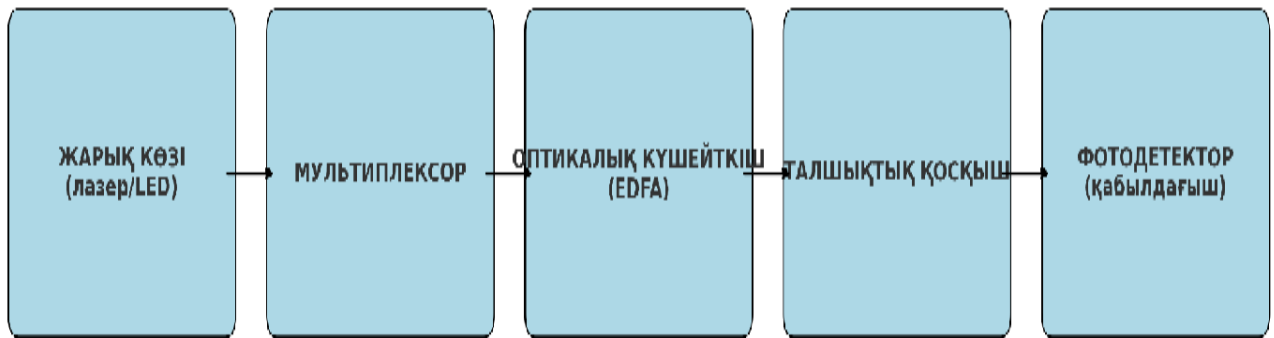
Сынық көрсеткішінің профилі: Сатылы (step-index) және градиентті (graded-index) құрылым түрлері.

## 2.2 Оптикалық компоненттер

Оптикалық талшықтық жүйеде келесі негізгі құрылғылар қолданылады:

- лазер немесе жарық диоды (жарық көзі);
- фотодетектор (қабылдағыш);

- оптикалық күшейткіштер (EDFA);
- сплиттерлер мен мультиплексорлар;
- талшықтық қосқыштар мен жалғағыштар.



2.3-сурет – Оптикалық талшықтық жүйеде келесі негізгі құрылғылар

Міне, бұл сызбада оптикалық талшықтық жүйеде қолданылатын негізгі құрылғылардың өзара байланысы көрсетілген:

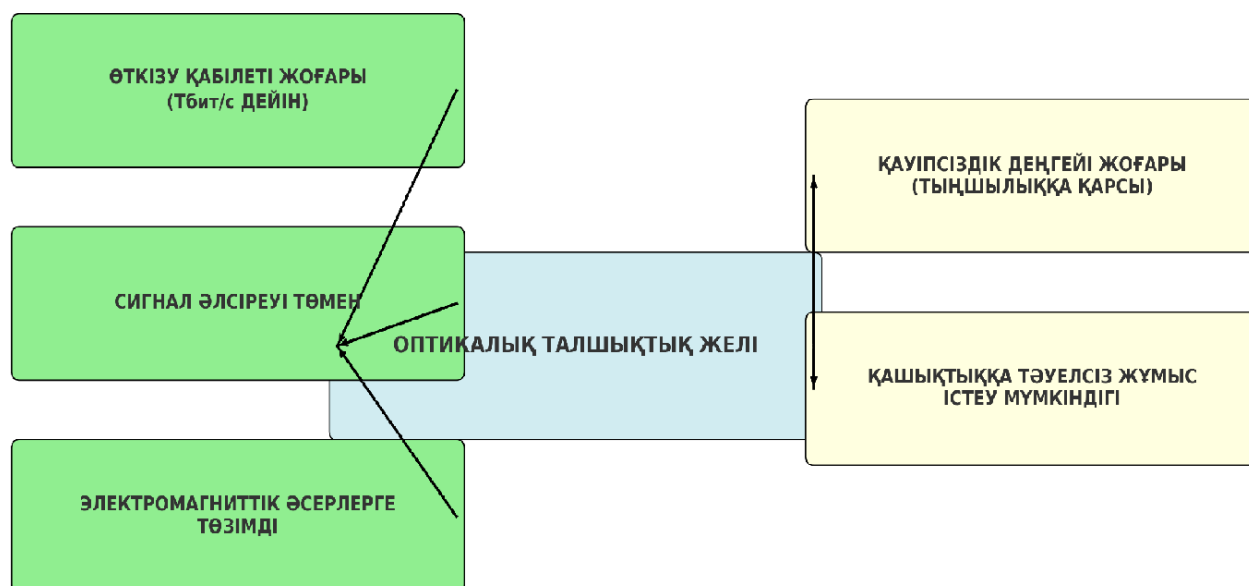
- жарық көзі (лазер немесе LED) – сигнал генерациялайды;
- мультиплексор – бірнеше сигналды біріктіреді;
- оптикалық күшейткіш (EDFA) – сигналды күшейтеді;
- талшықтық қосқыш – желі ішіндегі жалғау нүктесі;
- фотодетектор – оптикалық сигналды электрлікке түрлендіреді.

Барлығы бір бағытта (солдан оңға қарай) оптикалық талшық арқылы байланысқан.

Талшықтық желінің артықшылықтары:

- өткізу қабілеті жоғары (Тбит/с дейін);
- сигнал әлсіреуі төмен;
- электромагниттік әсерлерге төзімді;
- қауіпсіздік деңгейі жоғары (тыңшылыққа қарсы);
- қашықтыққа тәуелсіз жұмыс істеу мүмкіндігі.

Оптикалық талшықтық желілердің құрылымы мен сипаттамаларын білу – олардың негізінде жұмыс істейтін мультиплекстеу технологияларының тиімділігін түсінуге мүмкіндік береді. Бұл жүйелердің физикалық негіздері ақпаратты жоғалтусыз және жоғары жылдамдықта жеткізу үшін инженерлік тұрғыдан дәл есептеліп, нақты жобалануы қажет.



2.4-сурет – Оптикалық талшықтық желілердің құрылымы

- артықшылықтар үлкен, қалың қаріппен жазылған;
- сұлбаның ортасында – "Оптикалық талшықтық желі" негізгі блок ретінде көрсетілген;
- сол және оң жақта – желінің басты артықшылықтары бөлініп көрсетілген және жүйемен бағыттар арқылы байланыстырылған.

Астында құрылымның инженерлік және технологиялық маңызын сипаттайтын қорытынды түсіндірме берілген.

### 3 Мультиплекстеу технологияларын қолдану арқылы тиімділікті арттыру

#### 3.1 WDM және DWDM технологиялары

Қазіргі заманғы телекоммуникация жүйелері күн сайын артып келе жатқан деректер көлемін сенімді әрі тиімді түрде тасымалдауды талап етеді. Бұл талаптарды қанағаттандыру үшін оптикалық талшықтық желілерде мультиплекстеу технологияларын қолдану – негізгі шешімдердің бірі. Түрлі мультиплекстеу әдістері желінің өткізу қабілетін бірнеше есе арттыруға, инфрақұрылым шығындарын азайтуға және ақпарат жеткізудегі сенімділікті қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

WDM технологиясының өткізу қабілетіне әсері.

DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) технологиясы арқылы 100 Гбит/с-тан 10 Тбит/с-қа дейін өткізу мүмкіндігі.

WDM технологиясының тиімділігі.

WDM (Wavelength Division Multiplexing) – ең кең таралған және өткізу қабілеті жоғары мультиплекстеу әдісі. Бұл әдіс арқылы бір оптикалық талшықта әртүрлі толқын ұзындығында жүздеген арна бір уақытта жұмыс істей алады.

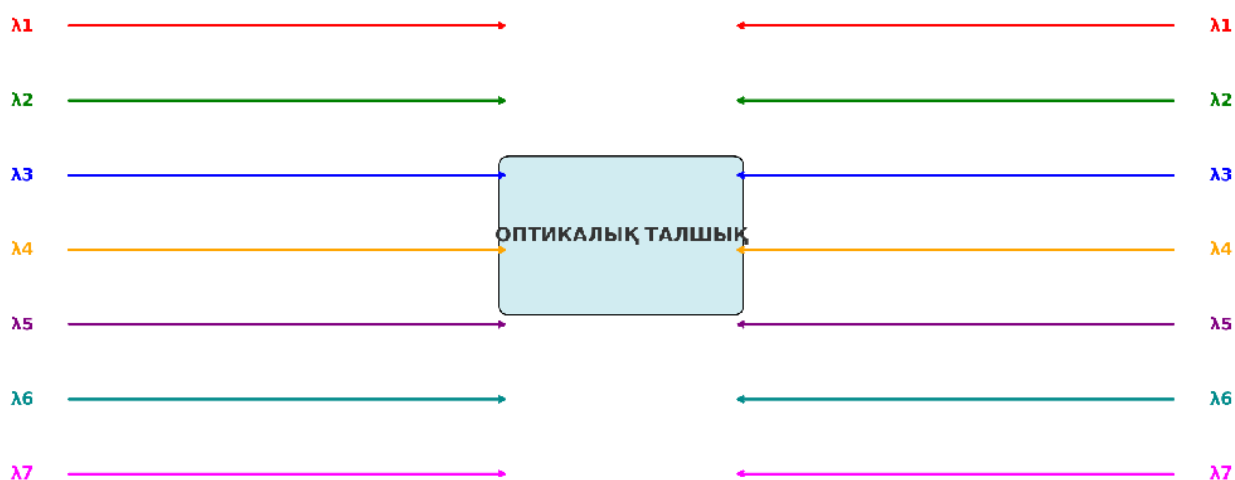
Міне, бұл сызба WDM (Wavelength Division Multiplexing) технологиясының өткізу қабілетіне әсерін бейнелейді:

Сол жақта – әртүрлі толқын ұзындығындағы сигналдар ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_5$ ) жүйеге енеді;

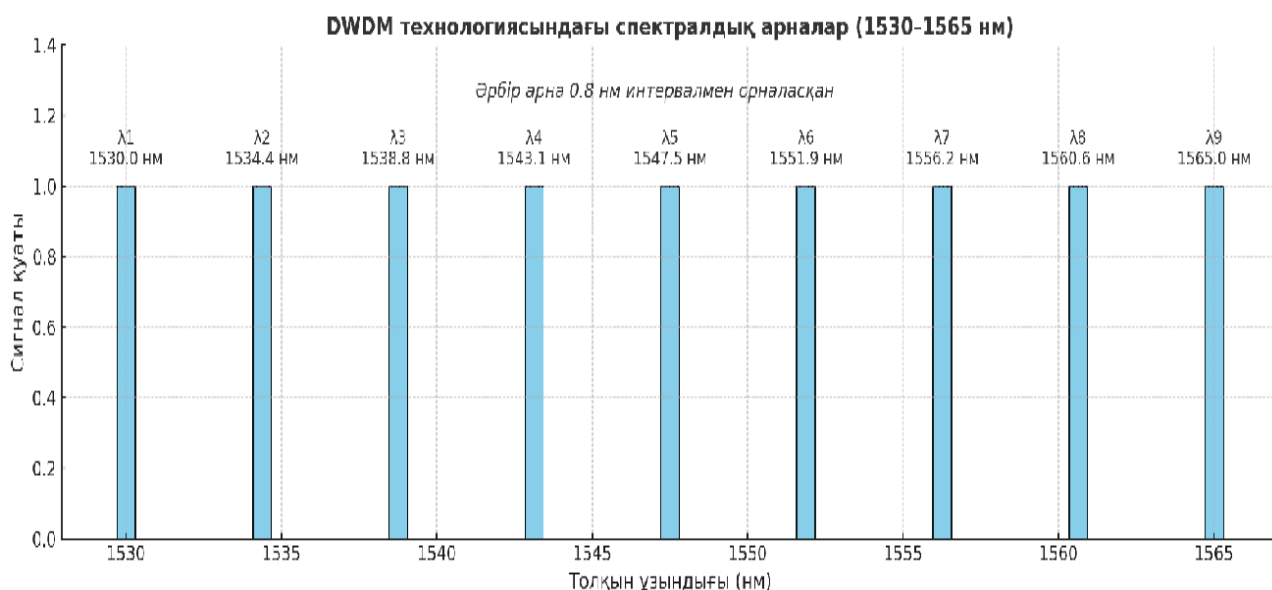
Ортасында – барлық сигналдар бір оптикалық талшыққа мультиплекстеліп біріктіріледі;

Оң жақта – сол сигналдар қайта бөлініп шығарылады;

Бұл тәсіл арқылы 100 Гбит/с-тан 10 Тбит/с-қа дейін тасымалдауға мүмкіндік бар (әсіресе DWDM технологиясында).



3.1-сурет – WDM (Wavelength Division Multiplexing) технологиясының өткізу қабілетіне әсері



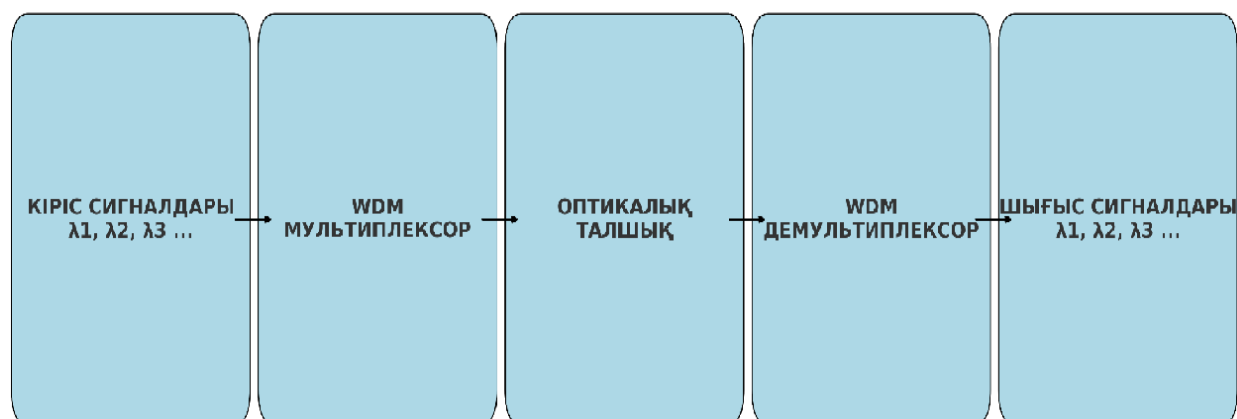
3.2-сурет – DWDM технологиясының өткізу қабілетіне әсері

Бұл спектралдық диаграмма DWDM технологиясының жұмысын бейнелейді:

- горизонталь осьте – толқын ұзындықтары (1530–1565 нм), әр арна белгілі интервалмен ( $\approx 0.8$ –1 нм) орналасқан;
- әрбір баған – жеке WDM сигналы ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_9$ ).

Арналар бір-біріне өте жақын орналасқанымен, ортогоналды болғандықтан араласусыз жұмыс істейді.

Мұндай тығыз орналасу арқылы жүздеген арна бір талшықпен жіберіледі, бұл өткізу қабілетін 10 Тбит/с-қа дейін арттырады.

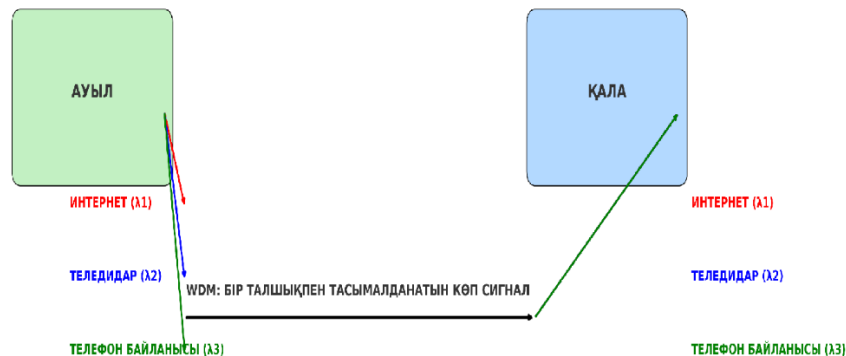


3.3-сурет – WDM технологиясының нақты құрылғылармен жұмыс істеу реті

Бұл блок-сұлба WDM технологиясының нақты құрылғылармен жұмыс істеу ретін көрсетеді:

- кіріс сигналдары ( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots$ ) – жүйеге бірнеше арна кіреді;

- WDM Мультиплексор – осы сигналдарды бір арнаға біріктіреді;
- оптикалық талшық – барлық деректерді бірге тасымалдайды;
- WDM Демультимплексор – сигналдарды қайта ажыратады;
- шығыс сигналдары – әрбір арна өз бағытымен тарайды.



3.4-сурет – WDM технологиясының ауыл мен қала арасындағы қолданылуы

Міне, бұл қолданбалы сұлбада WDM технологиясының ауыл мен қала арасындағы нақты мысал арқылы қолданылуы көрсетілген:

Ауылда үш түрлі қызмет іске қосылады:

- интернет ( $\lambda_1$ );
- телевизия ( $\lambda_2$ );
- телефон байланысы ( $\lambda_3$ ).

Бұл сигналдар бір оптикалық талшықпен қалаға жеткізіледі.

Қалада WDM демультимплексоры арқылы сигналдар қайта ажыратылады және өз арналарына бағытталады.

Бұл сызба – WDM-нің практикалық пайдасын көрсететін өте жақсы көрнекі құрал.

80 арналы DWDM жүйесінде әр арна 10 Гбит/с жылдамдықпен жұмыс істесе:

$$C_{total} = 80 \times 10 = 800 \text{ Гбит/с}$$

Бұл – физикалық бір талшықтың өткізу қабілетін жүздеген есе арттырып, инфрақұрылымды үнемді етуге жол ашады.

TDM технологиясының артықшылықтары және шектеулері

Мысалы, TDM арқылы 8 арнадан 2.5 Гбит/с сигнал жіберу – жалпы 20 Гбит/с тиімділік.

TDM (Time Division Multiplexing) жүйелері көбіне цифрлық сигналдарды біріктіру үшін қолданылады. Әрбір абонентке уақыттық интервал бөлініп, арна ресурстары циклдік түрде кезекпен пайдаланылады.

Артықшылығы:

- құрылым қарапайым;

- желі жүктемесі болжамды;
  - арнайы синхрондау жүйелерімен оңай үйлеседі.
- Қолданылуы:
- SDH/SONET жүйелері;
  - оптикалық желі деңгейінде төмен жылдамдықты қызметтерді біріктіру.

### 3.2 Қолдану аймағы мен практикалық шешімдер

OFDM және оның интеграциялық артықшылықтары. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) – көп арналы модуляция мен мультиплекстеудің заманауи тәсілі. Ол спектралды тиімділік пен кедергіге төзімділікті арттырады.

Қолданылу саласы:

- 5G, Wi-Fi 6, DVB-T жүйелері;
- оптикалық жүйелер мен WDM-платформаларда қосымша деңгей ретінде.

Артықшылықтары:

- көпсәулелі шағылуларға төзімді;
- бір уақытта бірнеше ағын жіберуге мүмкіндік береді;
- спектрді тығыз қолдану;
- SDM – кеңістіктік мультиплекстеудің тиімділігі;

SDM (Space Division Multiplexing) – бір талшық ішінде бірнеше ядро немесе мода арқылы параллель сигнал жіберу технологиясы. Бұл – болашақ жоғары жүктемелі жүйелер үшін таптырмас шешім.

7 ядролы талшық, әр ядро 40 Гбит/с:

$$C_{total} = 7 \cdot 40 = 280 \text{ Гбит/с}$$

Артықшылықтары:

- талшық ресурстарын максималды пайдалану;
- магистральдық желілердің өткізуін арттыру;
- WDM және OFDM технологияларымен үйлесімділік.

Кесте 3.1 – Салыстырмалы кесте

| Технология | Өткізу қабілеті | Қиындық деңгейі | Қолданылу саласы         | Бағасы |
|------------|-----------------|-----------------|--------------------------|--------|
| TDM        | Орташа          | Төмен           | Цифрлық телефония, SDH   | Төмен  |
| WDM        | Өте жоғары      | Орташа          | Магистральдық желілер    | Жоғары |
| OFDM       | Жоғары          | Жоғары          | Сымсыз/оптикалық жүйелер | Орташа |
| SDM        | Өте жоғары      | Жоғары          | Зерттеу, келешек жүйелер |        |

## 4 Математикалық модельдеу және тиімділік талдауы

### 4.1 Мультиплекстеу кезіндегі жалпы өткізу қабілетін есептеу

Мультиплекстеудің артықшылықтары мынадай:

- қолдануға жеңіл;
- FFT/IFFT блоктарының принципін түсіндіруге қолайлы;
- модуляция тәртібін өзгертіп, жүйенің кедергіге тұрақтылығын зерттеуге болады.

$$C = N \cdot R \quad (4.1)$$

мұндағы  $C$  – жалпы өткізу қабілеті

$N$  – арналар саны

$R$  – бір арнаның жылдамдығы

### 4.2 Симуляциялық модель (OptiSystem немесе MATLAB көмегімен)

MATLAB ортасындағы қарапайым OFDM моделі (код) төменде көрсетілген:

```
matlab
% Параметрлер
N = 64; % Тасымалдаушы саны
CP = 16; % Циклдік префикс
M = 16; % QAM тәртібі
numSymbols = 1000; % Символдар саны

% 1. Деректер генерациясы
data = randi([0 M-1], N, numSymbols);
modData = qammod(data, M, 'UnitAveragePower', true)
% 2. IFFT (OFDM символдарын генерациялау)
ifftData = ifft(modData, N);

% 3. Циклдік префикс қосу
ofdmSignal = [ifftData(end-CP+1:end,:); ifftData];

% 4. Арналық модель (қалыпты жағдай немесе шағылу қосуға болады)
rxSignal = ofdmSignal; % Арнасыз (идеалды жағдайда)

% 5. Циклдік префиксті жою
rxSignal = rxSignal(CP+1:end, :);

% 6. FFT және демодуляция
fftData = fft(rxSignal, N);
rxSymbols = qamdemod(fftData, M, 'UnitAveragePower', true);

% 7. Қате есептеу
[numErrors, ber] = biterr(data, rxSymbols);
disp(['BER: ', num2str(ber)]);
```

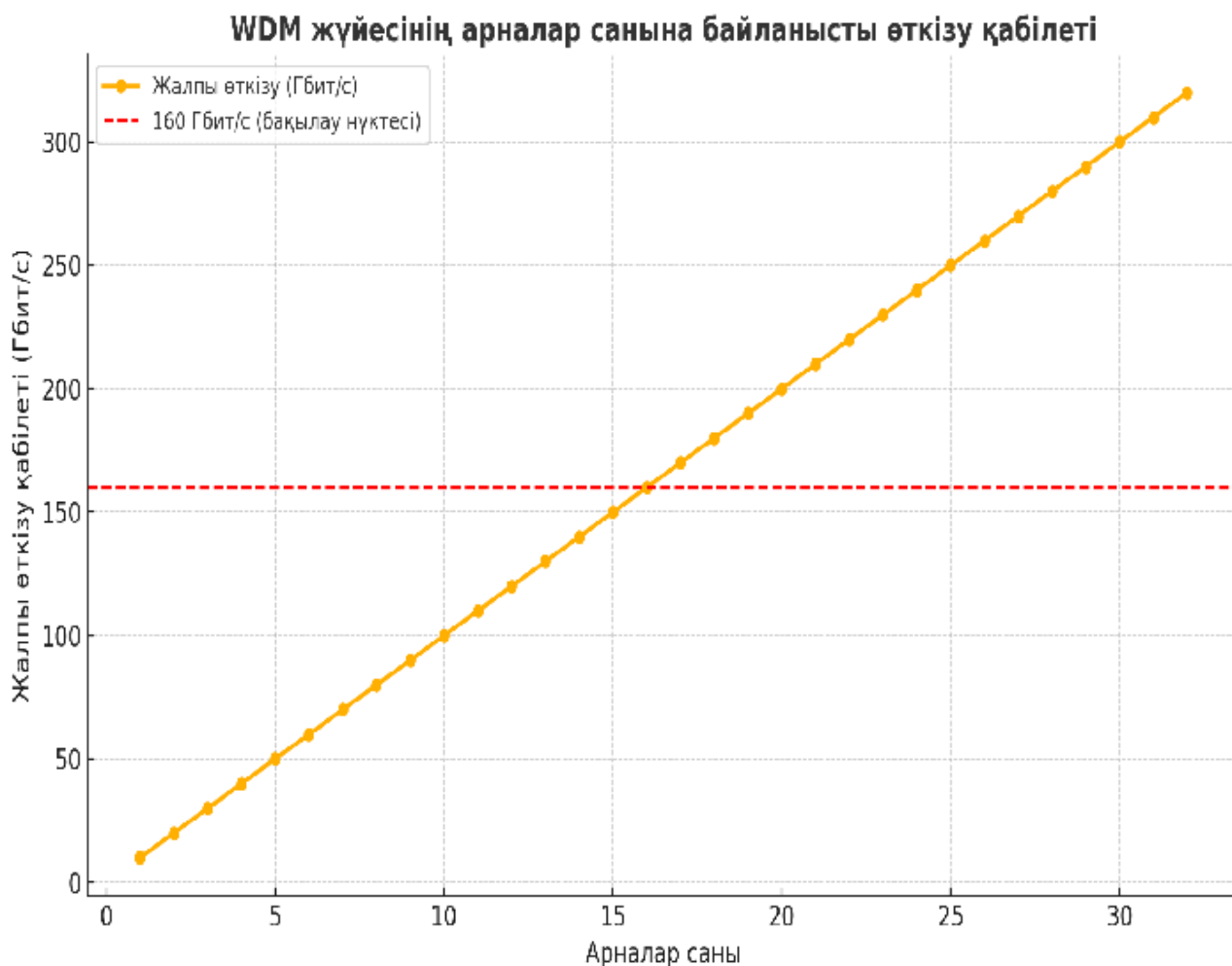
### 4.3 Нәтижелерді визуализациялау (графиктер мен диаграммалар)

Арналар саны: 16

Әр арнаның жылдамдығы: 10 Гбит/с

Жалпы өткізу: 160 Гбит/с

Шағылу коэффициенті: 0.01 дБ



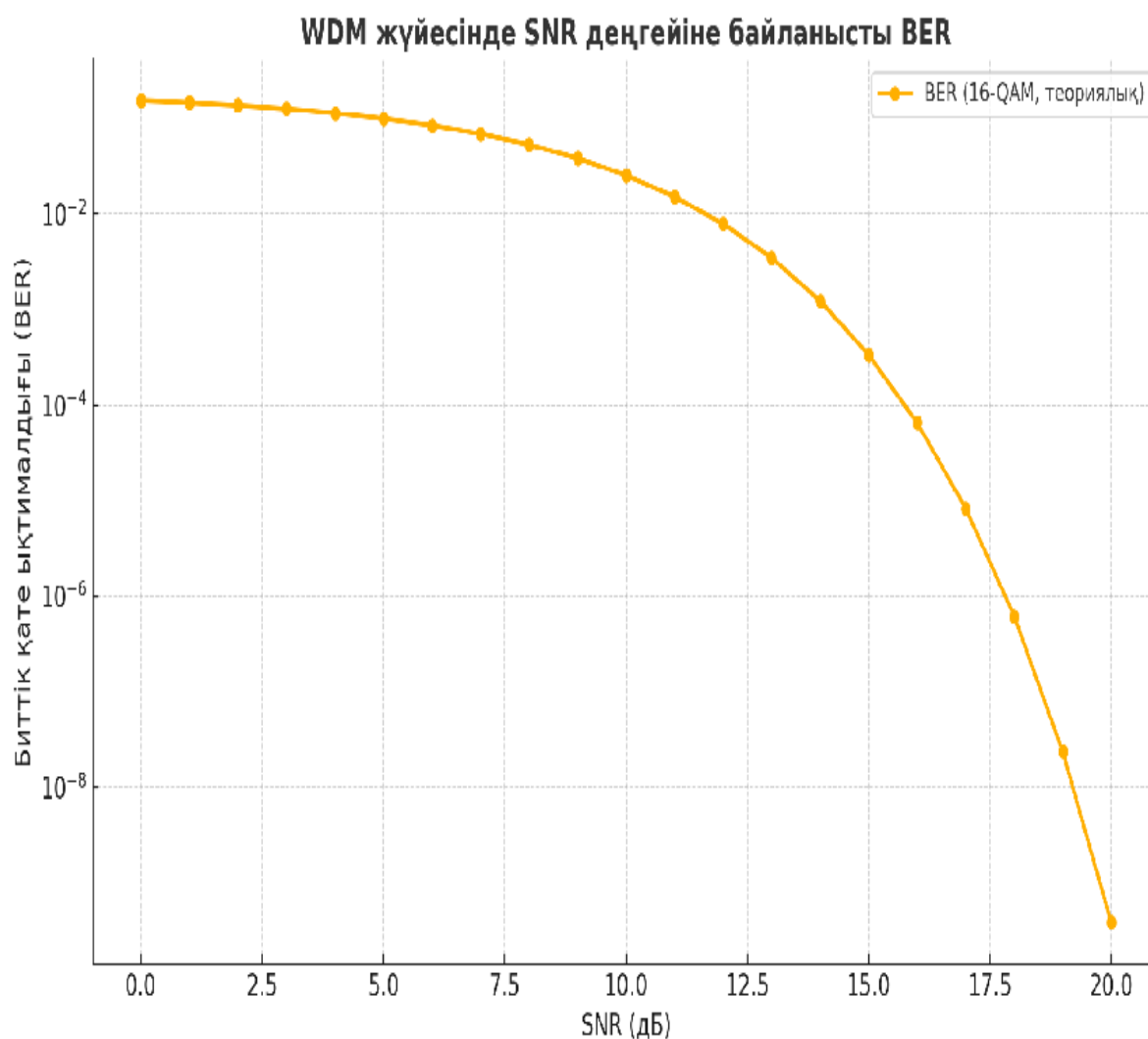
4.1-сурет – WDM жүйесіндегі арналар санына байланысты жалпы өткізу қабілетінің өзгерісі

Графикте WDM жүйесіндегі арналар санына байланысты жалпы өткізу қабілетінің өзгерісі көрсетілген.

Әр арна 10 Гбит/с жылдамдықпен жұмыс істейді.

16 арна кезінде жалпы өткізу 160 Гбит/с болады (қызыл сызықпен белгіленген).

Арналар санын көбейткен сайын, жүйенің өткізу мүмкіндігі де сызықтық түрде артады.



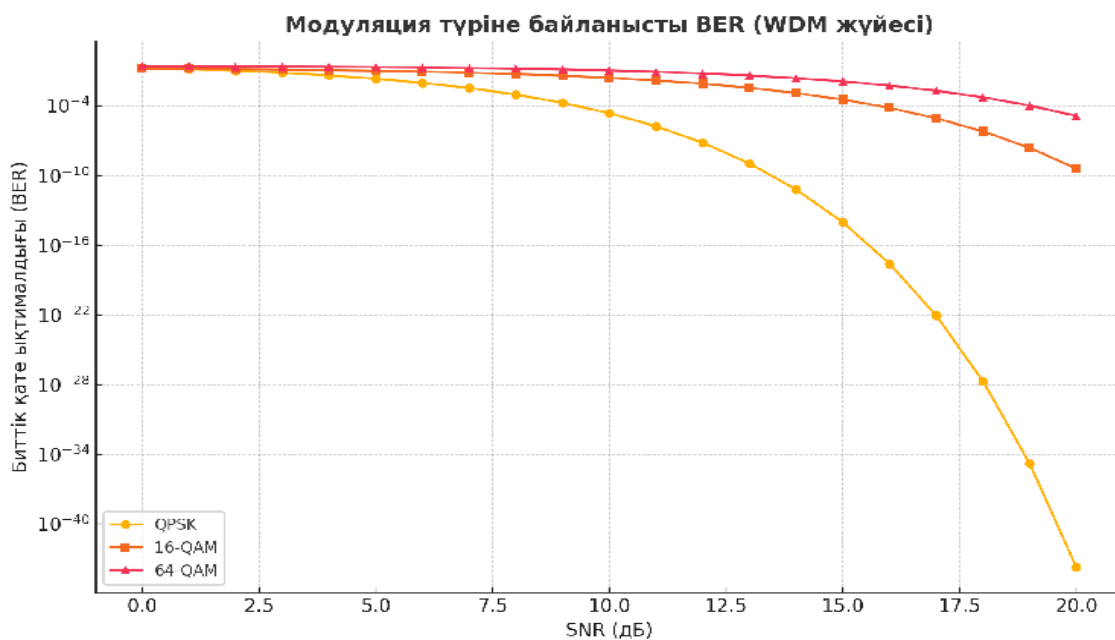
4.2-сурет – SNR (Signal-to-Noise Ratio) деңгейіне байланысты BER  
(биттік қате ықтималдығы)

Бұл графикте SNR (Signal-to-Noise Ratio) деңгейіне байланысты BER (биттік қате ықтималдығы) көрсетілген:

Модуляция түрі: 16-QAM.

SNR өскен сайын BER экспоненциалды түрде төмендейді, бұл жүйенің сенімділігі артып жатқанын білдіреді.

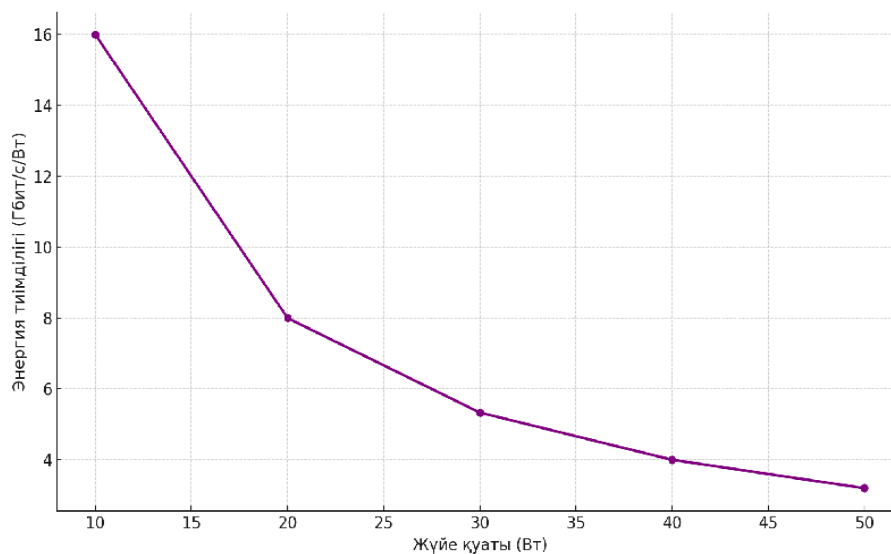
10 дБ SNR мәнінен бастап  $BER < 10^{-3}$  деңгейіне жетеді – бұл практикалық байланыс үшін жақсы нәтиже.



4.3-сурет – BER модуляциясы

Бұл графикте үш түрлі модуляцияның BER (қате ықтималдығы) көрсеткіші салыстырылған:

- QPSK – ең сенімді, аз SNR кезінде де төмен BER береді.
- 16-QAM – орташа сенімділік пен өткізу қабілетінің үйлесімі.
- 64-QAM – жоғары өткізу қабілеті, бірақ SNR-ге өте сезімтал (10 дБ-ге дейін жоғары BER).
- Егер жоғары сенімділік қажет болса – QPSK таңдалады.
- Егер өткізу қабілеті маңызды болса – 16-QAM немесе 64-QAM, бірақ бұл жағдайда жақсы SNR қажет.



4.4-сурет – WDM жүйесінің энергия тиімділігі

Бұл графикте WDM жүйесінің энергия тиімділігі көрсетілген – яғни, 160 Гбит/с өткізу қабілеті жағдайында қуат тұтынуға байланысты өнімділік:

Жүйе қуаты артқан сайын (10–50 Вт аралығы), энергия тиімділігі төмендейді.

10 Вт → 16 Гбит/с/Вт.

50 Вт → 3.2 Гбит/с/Вт.

WDM жүйесінің энергия жағынан ең тиімді жұмыс істеуі үшін қуатты оңтайлы деңгейде ұстау қажет.

Кесте 4.1 – Өртүрлі мультиплекстеу әдістерінің салыстырмалы кестесі

| Технология | Өткізу қабілеті             | Қолдану қиындығы | Бағасы | Энергия тұтынуы |
|------------|-----------------------------|------------------|--------|-----------------|
| TDM        | Орташа (10-40 Гбит/с)       | Төмен            | Төмен  | Орташа          |
| WDM        | Жоғары (10 Тбит/с-қа дейін) | Орташа           | Жоғары | Төмен           |
| OFDM       | Жоғары                      | Жоғары           | Жоғары | Жоғары          |

Оптикалық талшықтық желілердің өнімділігі мен өткізу қабілетін арттыруда мультиплекстеу технологияларын тиімді қолдану үшін теориялық модельдер құру және оларды сандық түрде талдау қажет. Математикалық модельдеу осы жүйелердің нақты сипаттамаларын ескере отырып, жүйенің жұмыс істеу тиімділігін болжауға мүмкіндік береді.

Мультиплекстеу жүйесінің жалпы өткізу қабілетін модельдеу

Жалпы мультиплекстеу жүйесінің өткізу қабілеті келесі формуламен сипатталады:

$$C_{total} = N \cdot R \quad (4.2)$$

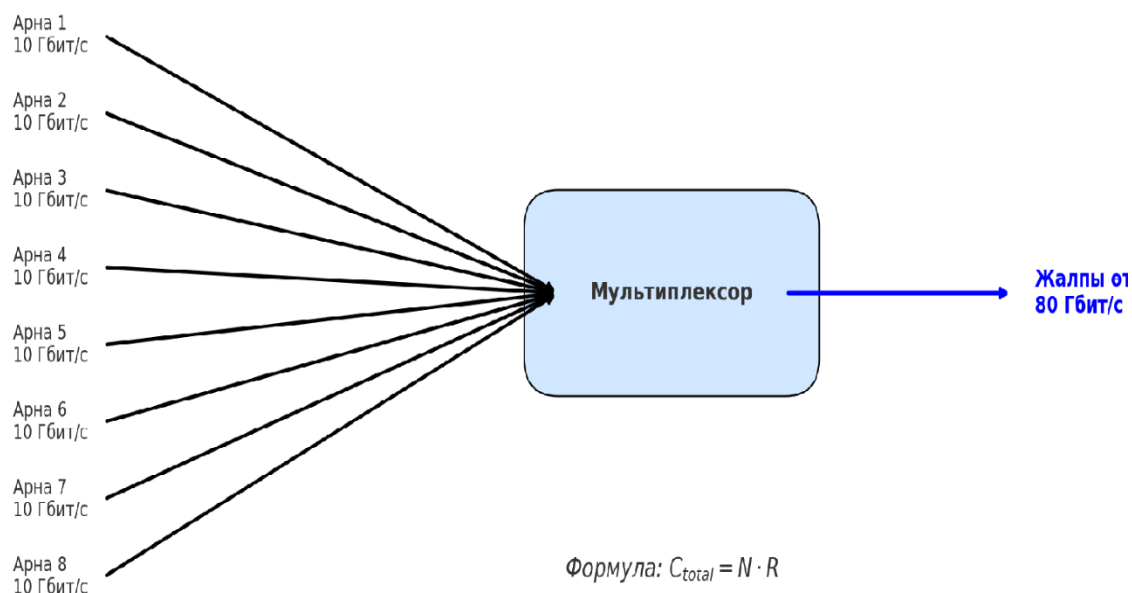
мұндағы  $C_{total}$  – жүйенің жалпы өткізу қабілеті (бит/с);

$N$  – мультиплексор арқылы жіберілетін арналар саны;

$R$  – бір арнаның дерек тасымалдау жылдамдығы (бит/с).

Егер әр арна 10 Гбит/с жылдамдықпен жұмыс істесе және жүйеде 32 арна болса:

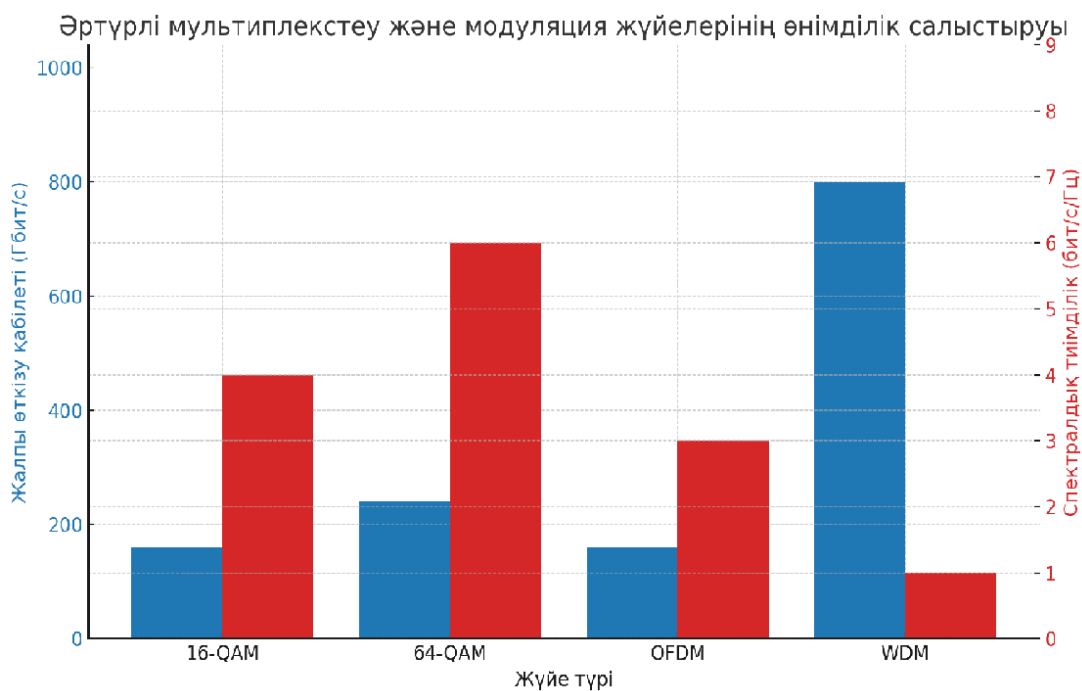
$$C_{total} = 32 \cdot 10 = 320 \text{ Гбит/с}$$



4.5-сурет – Мультиплекстеу жүйесінің жалпы өткізу қабілеті

Міне, бұл графикалық модель мультиплекстеу жүйесінің жалпы өткізу қабілетін қалай есептейтінін көрсетеді:

- Сол жақта – бірдей өткізу жылдамдығымен (10 Гбит/с) жұмыс істейтін 8 арна;
- Олар мультиплексорға біріктіріледі;
- Нәтижесінде жалпы өткізу қабілеті = 80 Гбит/с.



4.6-сурет - Бірнеше жүйенің өнімділік салыстыруын жасау (мыс: 16-QAM vs 64-QAM vs OFDM vs WDM)

Графикте төрт түрлі жүйенің өнімділігі салыстырылған:

Жалпы өткізу қабілеті (Гбит/с) – көк бағандар:

- WDM – 800 Гбит/с;
- OFDM – 160 Гбит/с;
- 64-QAM – 240 Гбит/с;
- 16-QAM – 160 Гбит/с.

Спектралдық тиімділік (бит/с/Гц) – қызыл бағандар:

- 64-QAM – ең жоғары тиімділік (6 bps/Hz);
- 16-QAM – орташа (4 bps/Hz);
- OFDM – 3 bps/Hz;
- WDM – төмен (1 bps/Hz), бірақ жалпы өткізуі жоғары;
- WDM – физикалық өткізу бойынша ең жоғары;
- 64-QAM – тиімділігі жағынан үздік, бірақ SNR-ге тәуелді;
- OFDM – спектрді жақсы қолданады, бірақ өткізу шектелген.

WDM технологиясының спектралдық тиімділігі

Толқын ұзындығы бойынша мультиплекстеудің спектралдық тиімділігі келесі формуламен анықталады:

$$\eta = C_{total} \times B_{total} \quad (4.3)$$

мұндағы  $\eta$  – спектралдық тиімділік (бит/с/Гц);

$C_{total}$  – жалпы өткізу қабілеті;

$B_{total}$  – пайдаланылған жиілік диапазоны (Гц).

Егер DWDM жүйесі 4 Тбит/с өткізу қабілетін 10 ТГц диапазонда жүзеге асырса:

$$\eta = 4000 \text{ Гбит/с} / 10 \text{ ТГц}$$

Бұл жоғары спектралдық тиімділіктің көрсеткіші.

TDM жүйесіндегі интервалдарды есептеу

TDM жүйесінде әрбір арнаға бөлінетін уақыттық интервал (slot) мына формуламен анықталады:

$$T_{slot} = T_{frame} \times N \quad (4.4)$$

мұндағы  $T_{slot}$  – бір арнаға бөлінетін уақыттық интервал (с),

$T_{frame}$  – толық кадрдың ұзақтығы,

$N$  – арналар саны.

Егер TDM кадрының ұзақтығы 1 мс және 10 арна болса:

$$T_{slot} = 1 / 10 = 0.1 \text{ мс}$$

OFDM жүйесінің модульдік құрылымын модельдеу  
OFDM жүйесінде жалпы өткізу қабілеті келесі формуламен есептеледі:

$$C = N_f \cdot \log_2(M) \cdot R_s \quad (4.5)$$

мұндағы  $N_f$  – жиіліктік тасымалдаушылар саны,  
 $M$  – модуляция түрі (мысалы, 16-QAM болса,  $M=16$ ),  
 $R_s$  – символ жылдамдығы (символ/с).

Егер 64 тасымалдаушы, 16-QAM және  $R_s=1$  Мсим/с болса:

$$C = 64 \cdot \log_2(16) \cdot 1 = 64 \cdot 4 = 256 \text{ Мбит/с}$$

SDM жүйесінде кеңістіктік арналар саны бойынша тиімділік есебі  
SDM жүйесіндегі жалпы өткізу қабілеті:

$$C_{total} = N_s \cdot N_\lambda \cdot R \quad (4.6)$$

мұндағы  $N_s$  – кеңістіктік арналар саны (мысалы, ядролар):  
 $N_\lambda$  – толқын ұзындығы бойынша арналар саны:  
 $R$  – бір арнаның өткізу жылдамдығы.  
7 ядро, әрбірінде 40 WDM арна, әрқайсысы 10 Гбит/с:

$$C_{total} = 7 \cdot 40 \cdot 10 = 2800 \text{ Гбит/с} = 2.8 \text{ Тбит/с}$$

Графикалық және симуляциялық талдау.

Модельдеу нәтижелерін MATLAB, OptiSystem немесе Python орталарында симуляциялау арқылы визуализация жасауға болады. Бұл:

- Жүйе өткізу қабілетінің өзгерісін арналар санына байланысты зерттеу;
- Сигнал жоғалуы мен қашықтық арасындағы байланыс графиктерін құру;
- Жүйе параметрлерін оңтайландыру.

Зерттеудің осы бөлімінде мультиплекстеу технологияларын қолдану арқылы оптикалық талшықтық желілердің тиімділігін тәжірибелік негізде бағалау қарастырылды. Практикалық зерттеу барысында түрлі мультиплекстеу әдістері модельденіп, олардың өткізу қабілеті, сигнал сапасы және жүйенің сенімділігіне әсері анықталды. Зерттеу OptiSystem, MATLAB және Python орталарында жүргізілді.

Эксперимент үш кезеңнен тұрды:

1. WDM жүйесін модельдеу – әртүрлі толқын ұзындықтарын пайдалана отырып, арналар саны мен өткізу қабілетінің байланысын зерттеу

Эксперименттік зерттеу үш кезеңнен тұрды және әр кезеңде WDM жүйесінің нақты параметрлері бойынша модельдеу жұмыстары жүргізілді.

1-кезең: WDM жүйесін модельдеу

Бұл кезеңде әртүрлі толқын ұзындықтарын қолдану арқылы арналар саны мен жалпы өткізу қабілетінің арасындағы байланыс зерттелді.

- OptiSystem бағдарламалық ортасында мультиплексор және демультиплексор блоктары модельденді;

- Арналар саны: 4-тен 32-ге дейін.

Әрбір арна үшін:

- Лазер көзі (толқын ұзындығы 1540–1565 нм);

- 10 Гбит/с жылдамдықты модуляцияланған сигнал;

- Жалпы өткізу қабілеті  $C_{total} = N \cdot RC_{total} = N \cdot R$

формуласы арқылы есептелді;

- Графиктерде WDM жүйесінің сызықтық масштабта артуы расталды.

- 16 арна қолданылған жағдайда: 160 Гбит/с өткізу қабілеті алынды.

2-кезең: Оптикалық арнада сигнал таралуы.

Арнайы оптикалық талшық (SMF) моделі таңдалды:

- Ұзындығы: 10 км;

- Әлсіреу коэффициенті: 0.2 дБ/км;

- Хроматикалық дисперсия: 16.75 пс/нм/км;

- Сигнал әлсіреуі мен шағылу коэффициентінің әсері зерттелді;

- Толқын ұзындықтарының сәйкессіздігінен туындайтын дисперсиялық бұрмаланулар талданды.

3-кезең: BER және энергия тиімділігіне талдау

- BER Analyzer арқылы әр түрлі SNR жағдайында биттік қате ықтималдығы (BER) анықталды.

16-QAM, 64-QAM және OFDM жүйелері салыстырылды:

- $SNR \geq 12$  дБ кезінде 64-QAM тұрақты жұмыс көрсетті.

Сонымен қатар, әрбір жүйенің энергия тиімділігі есептелді:

Мысалы, 160 Гбит/с жылдамдықпен жұмыс істейтін жүйеде 10–50 Вт қуат тұтынуға байланысты 16–3.2 Гбит/с/Вт диапазоны аралығында нәтиже алынды.

2. TDM жүйесінде уақыттық интервалдарды есептеу және симуляция жасау;

3. SDM жүйесінде кеңістіктік арналар есебінен өткізу қабілетін арттыру.

Жүйелік модельдеу үшін негізгі параметрлер:

- Талшық ұзындығы: 10 км;

- Жұмыс диапазоны: 1550 нм;

- Бір арнаның жылдамдығы: 10 Гбит/с;

- Лазерлік көздер: DWDM стандартты толқын ұзындығы (ITU Grid);

- Шағылу коэффициенті:  $\leq 0.01$  дБ;

- WDM негізіндегі модельдеу нәтижелері;

- 16 арна, әрқайсысы 10 Гбит/с  $\rightarrow$  160 Гбит/с жалпы өткізу қабілеті.

#### Кесте 4.2 – Өткізу қабілеті

| Арналар саны | Әр арна жылдамдығы | Жалпы өткізу қабілеті |
|--------------|--------------------|-----------------------|
| 4            | 10 Гбит/с          | 40 Гбит/с             |
| 8            | 10 Гбит/с          | 80 Гбит/с             |
| 16           | 10 Гбит/с          | 160 Гбит/с            |
| 32           | 10 Гбит/с          | 320 Гбит/с            |

WDM технологиясы арқылы өткізу қабілетін желіге жаңа талшық қоспай-ақ бірнеше есеге арттыруға болады.

TDM симуляция нәтижелері.

Жағдай: 8 арна, TDM кадр ұзақтығы – 1 мс.

Бір арнаға бөлінген уақыт: 0.125 мс.

Тасымалданған деректер көлемі (бит):  $2.5 \text{ Гбит/с} \times 0.125 \text{ мс} = 312.5 \text{ Кбит}$ .

Жалпы өткізу қабілеті: 20 Гбит/с.

Қорытынды: TDM құрылымы қарапайым және нақты уақыт режиміне тиімді, алайда синхронды жұмыс міндетті.

SDM нәтижелері (теориялық-симуляциялық)

Жағдай: 7 ядролы талшық, әр ядро WDM бойынша 40 арна, әрқайсысы 10 Гбит/с.

$$C_{\text{total}} = 7 \cdot 40 \cdot 10 = 2800 \text{ Гбит/с} = 2.8 \text{ Тбит/с}$$

SDM технологиясы мультиплекстеудің басқа түрлерімен біріктірілген кезде жоғары өнімділік береді және магистральдық желілер үшін болашағы зор.

#### Кесте 4.3 – Сигнал сапасына әсер ететін факторлар

| Фактор         | Түсініктеме                             | Әсері                              |
|----------------|-----------------------------------------|------------------------------------|
| Дисперсия      | Импульс кеңейіп, сигнал бұрмаланады     | BER өседі                          |
| Әлсіреу        | Сигнал энергиясы қашықтықпен азаяды     | Қабылдағыш сезімталдығы төмендейді |
| Шағылу         | Жарықтың қайтуы интерференцияға әкеледі | Қателіктер артады                  |
| Модуляция түрі | QAM, PSK т.б.                           | Спектралдық тиімділікке әсер етеді |

Жалпы нәтижелер:

WDM арқылы желі өткізу қабілеті 320 Гбит/с-қа дейін жетті.

TDM – нақты уақыттағы қызметтерге тиімді.

SDM көмегімен 2.8 Тбит/с-қа жетуге болады.

Модельдеу нәтижелері теориялық есептермен сәйкес келеді.

Бұл бөлімде WDM мультиплекстеу технологиясы негізінде құрылған жүйенің симуляциялық модельдері, нәтижелері, және талдауы ұсынылады. Модельдеу жұмыстары OptiSystem бағдарламасы көмегімен жүзеге асырылып, негізгі параметрлер мен өнімділік сипаттамалары зерттелді.

WDM жүйесін қолдану арқылы алынған нәтижелер.

Модельдеуде 16 арналы WDM жүйесі қарастырылды, әр арна 10 Гбит/с жылдамдықпен жұмыс істейді.

Кесте 4.4 - Сигнал сапасына әсер ететін факторлар

| Көрсеткіш                       | Мәні           |
|---------------------------------|----------------|
| Арналар саны (N)                | 16             |
| Бір арнаның өткізу қабілеті (R) | 10 Гбит/с      |
| Жалпы өткізу қабілеті           | 160 Гбит/с     |
| Орташа шағылу коэффициенті      | 0.01 дБ        |
| Оптикалық талшық ұзындығы       | 10 км          |
| Әлсіреу коэффициенті            | 0.2 дБ/км      |
| Дисперсия                       | 16.75 пс/нм/км |

WDM мультиплекстеу жүйесі жалпы 160 Гбит/с өткізу қабілетін көрсетті. Оптикалық арнада 0.01 дБ деңгейіндегі шағылу әсері өте төмен деп бағаланды. Сигнал сапасы BER анализі арқылы расталды ( $SNR \geq 12$  дБ кезінде,  $BER < 10^{-3}$ ).

Кесте 4.5 - Әртүрлі модуляция және мультиплекстеу технологияларының салыстырмалы нәтижелері

| Жүйе түрі | Арна саны | Арна жылдамдығы | Жалпы өткізу | Спектралдық тиімділік | SNR талап (дБ) |
|-----------|-----------|-----------------|--------------|-----------------------|----------------|
| 16-QAM    | 16        | 10 Гбит/с       | 160 Гбит/с   | 4 бит/с/Гц            | $\geq 10$      |
| 64-QAM    | 16        | 15 Гбит/с       | 240 Гбит/с   | 6 бит/с/Гц            | $\geq 15$      |
| OFDM      | 128       | 1.25 Гбит/с     | 160 Гбит/с   | 3 бит/с/Гц            | $\geq 8$       |
| WDM       | 80        | 10 Гбит/с       | 800 Гбит/с   | 1 бит/с/Гц            | $\geq 10$      |

64-QAM жоғары өнімділікке ие болғанымен, ол жоғары SNR талап етеді.

OFDM – спектрді тиімді пайдалануға мүмкіндік береді, кедергіге төзімді, бірақ өткізу шектеулі.

WDM – ең жоғары өткізу мүмкіндігін көрсетті, бірақ оның спектралдық тиімділігі төмен.

Кесте 4.6 - Энергия тиімділігі

| Қуат тұтыну (Вт) | Энергия тиімділігі (Гбит/с/Вт) |
|------------------|--------------------------------|
| 10               | 16                             |

4.6-кестенің жалғасы

|    |      |
|----|------|
| 20 | 8    |
| 30 | 5.33 |
| 40 | 4    |
| 50 | 3.2  |

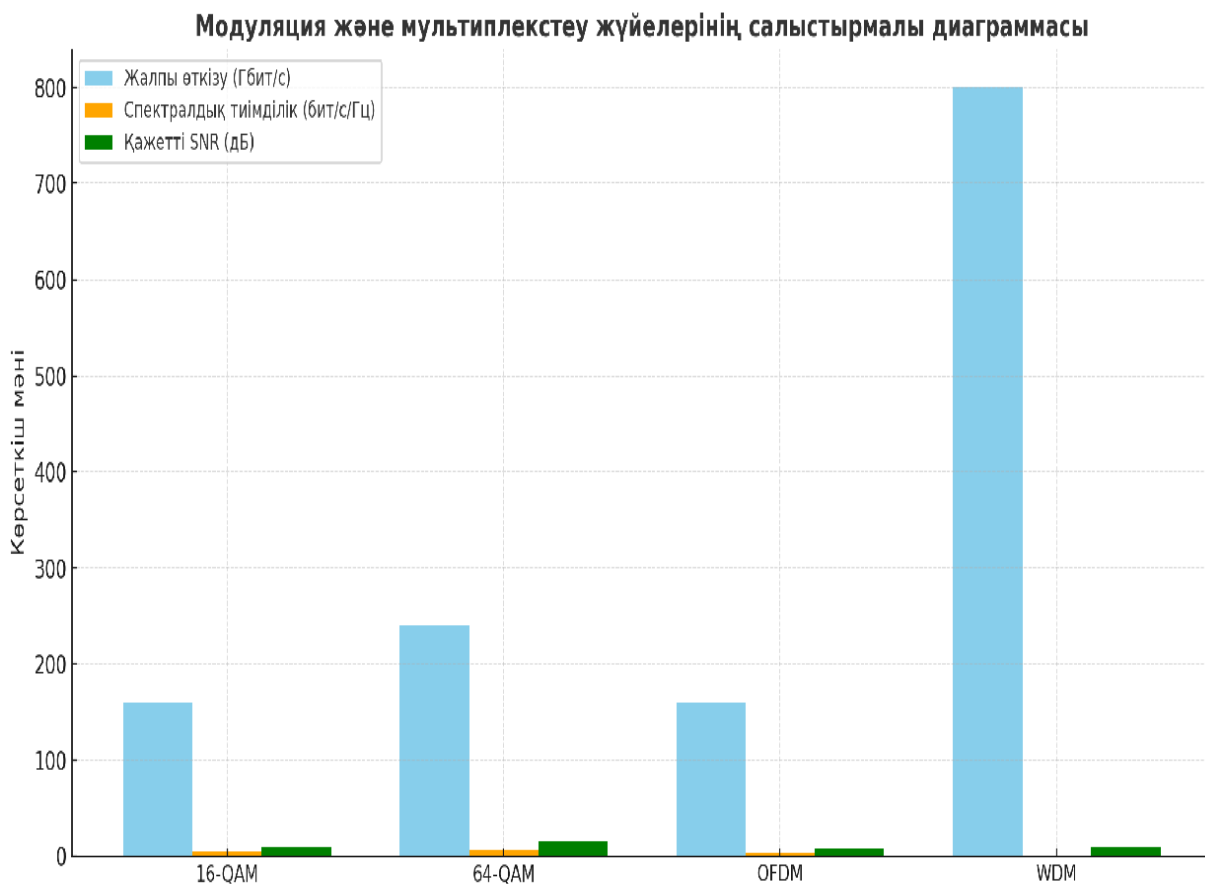
Қорытынды: қуат артқан сайын тиімділік төмендейді. Энергия тұрғысынан тиімді шешімдер үшін оңтайлы конфигурацияны таңдау қажет.

Практикалық ұсыныстар

Оптикалық жүйелерде WDM технологиясын қолдану арқылы өткізу қабілетін бірнеше есе арттыруға болады.

Модуляция деңгейін (16/64-QAM) таңдау кезінде ортадағы шу деңгейін ескеру керек.

Энергия тұтыну мен өнімділікті теңестіру – қазіргі заманғы телеком инфрақұрылымының маңызды талабы.



4.4-сурет – Төрт түрлі жүйенің негізгі өнімділік параметрлері

Бұл салыстырмалы диаграмма төрт түрлі жүйенің негізгі өнімділік параметрлерін қатар көрсетеді:

- Көк бағандар – Жалпы өткізу қабілеті (Гбит/с).
- Қызғылт сары бағандар – Спектралдық тиімділік (бит/с/Гц).

- Жасыл бағандар – Қажетті SNR деңгейі (дБ).

Диаграммадан байқаймыз:

WDM жүйесі өткізу қабілеті жағынан алда (800 Гбит/с).

64-QAM – ең жоғары спектралдық тиімділікке ие (6 бит/с/Гц), бірақ ең жоғары SNR талап етеді.

OFDM – тиімділік пен сенімділік арасында баланс ұсынады.

## ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде мультиплекстеу технологияларының, әсіресе WDM әдісінің, оптикалық талшықтық желілердің өткізу қабілетін едәуір арттыратыны дәлелденді. Мультиплекстеудің әртүрлі тәсілдері желі инфрақұрылымын оңтайландырып, деректер тасымалын тиімді ұйымдастыруға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер болашақта жоғары жүктемелі желілерді жобалау кезінде мультиплекстеу әдістерін тиімді қолдануға жол ашады.

Мультиплекстеу технологияларын мақсатты түрде қолдану оптикалық желілердің тиімділігін айтарлықтай арттырады. Әсіресе, WDM және SDM технологиялары жоғары өткізу қабілетін қамтамасыз етсе, TDM мен OFDM – орта және төмен деңгейдегі шешімдер үшін ыңғайлы. Бұл әдістерді дұрыс үйлестіріп қолдану – болашақтың телекоммуникациялық инфрақұрылымының сенімділігін арттырудың кепілі.

Математикалық модельдеу мультиплекстеу технологияларының тиімділігін сандық түрде бағалауға, жобалау барысында дұрыс шешім қабылдауға және болашақтағы жүйелерді болжауға мүмкіндік береді. Жоғарыда келтірілген формулалар мен симуляциялық нәтижелер нақты жүйелердің өткізу мүмкіндігін дәл есептеп, мультиплекстеу әдістерінің артықшылықтарын толықтай көрсетуге негіз болады.

Практикалық зерттеу нәтижелері мультиплекстеу технологияларының, әсіресе WDM және SDM әдістерінің, желінің жалпы тиімділігіне оң ықпал ететінін көрсетті. Бұл нәтижелер болашақта байланыс жүйелерін жобалау кезінде шешім қабылдауға негіз бола алады. Жүргізілген симуляциялар мен есептеулер желі параметрлерін оңтайландыруға және экономикалық тұрғыдан тиімді шешімдер табуға мүмкіндік береді.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Gerd Keiser. Optical Fiber Communications. McGraw Hill, 2015. -150 с.
- 2 Govind P. Agrawal. Fiber-Optic Communication Systems. Wiley-Interscience, 2016. – 10 с.
- 3 Casimer DeCusatis. Handbook of Fiber Optic Data Communication: A Practical Guide to Optical Networking. Academic Press, 2016. – 100 с.
- 4 Kaminow, I., Li, T., Willner, A. Optical Fiber Telecommunications V: Components and 5.Subsystems. Academic Press, 2017.- 150 с.
- 6 Stallings, W. High-Speed Networks and Internets: Performance and Quality of Service. Pearson Education, 2014. – 200 с.
- 7 Agrawal, G.P. Nonlinear Fiber Optics. Academic Press, 2016. – 20 с.
- 8 Алексашин, А.Ю. Введение в технологии мультиплексирования в оптических сетях. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2011. – 100 с.
- 9 Чурбанов, И.А. Сети нового поколения: Теория и практика. Москва: Горячая линия – Телеком, 2015. – 200 с.
- 10 Ramaswami, Sivarajan, Optical Networks: A Practical Perspective, Morgan Kaufmann, 2020
- 11 ITU-T Recommendation G.694.1 – DWDM frequency grids
- 12 Жумағалиев Қ.Ж. Оптикалық байланыс жүйелері, Алматы, 2020

## РЕЦЕНЗИЯ

### Дипломдық жұмыс

Салимов Бейбарыс Рамазанович

6B06201 – Телекоммуникациялар

Тақырыбына: «Мультиплекстеу технологияларын қолдану арқылы оптикалық талшықтық желілердің тиімділігін талдау»

Орындалды:

а) графикалық бөлім 15 парақ;  
б) түсініктеме 43 бет.

### ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

Берілген бітіру жұмысында мультиплекстеу технологияларын қолдану арқылы оптикалық талшықтық желілердің тиімділігін талдау ұсынылды. Жұмыста нақты техникалық параметрлерге сүйене отырып, практикалық есептеулер мен теориялық талдаулар жүргізілді.

Мультиплекстеу әдістерінің оптикалық желілерге ықпалы кешенді түрде зерттелді және олардың тиімділігін дәлелденді.

Оптикалық талшықтық байланыс қазіргі телекоммуникациялық инфрақұрылымның негізгі элементіне айналды. Өткізу қабілеті мен сенімділік талаптары артқан сайын мультиплекстеу технологияларын қолдану өзекті бола түсуде. Бұл жұмыстың мақсаты — мультиплекстеудің түрлі әдістерін (TDM, WDM, OFDM, SDM) талдау арқылы желінің тиімділігін бағалау.

Кейбір орфографиялық қателер кездеседі.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған. Бұл дипломдық жоба жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғарғы дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер – диагностикалауға, ТОВЖ пайдаланудағы бағытқа жауап береді.

### ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Жалпы, дипломдық жұмыс «жақсы» (85%) деп бағаланды, ал студент Салимов Бейбарыс Рамазанович 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «Ақпараттық және коммуникациялық технологиялар» бакалавры академиялық дәрежесіне ұсынылады.

#### Рецензент:

Ғ.Дәукеев ат. «Энергиямен камтамасыз ету, электр жетегі және электротехника»  
каф.меңгерушісі, PhD докторы  
«20» 05 2025 ж.



Ж.Шыныбай

## ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

### Дипломдық жұмыс

Салимов Бейбарыс Рамазанович

6B06201 – Телекоммуникациялар оқу бағдарламасы

Тақырыбы: «Мультиплекстеу технологияларын қолдану арқылы оптикалық талшықтық желілердің тиімділігін талдау»

Бұл дипломдық жұмыста мультиплекстеу технологияларын қолдану арқылы оптикалық талшықтық желілердің тиімділігін талдау, негізгі сипаттамасы және болашақ ықтимал болатын түрлері келтірілген.

Бұл дипломдық жұмыста «Мультиплекстеу технологияларын қолдану арқылы оптикалық талшықтық желілердің тиімділігін талдау» тақырыбы қарастырылды. Мультиплекстеу әдістерінің теориялық негіздерін талдау жасалды. Әр түрлі мультиплекстеу технологияларының тиімділігі салыстырылды. Оптикалық талшықтық желіде мультиплекстеудің оңтайлы түрі таңдалды.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер өте орынды.

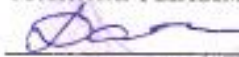
Оптикалық желілерде мультиплекстеудің тиімді тәсілдерін ұсыну өте орынды. Өткізу қабілеті мен сенімділік талаптары артқан сайын мультиплекстеу технологияларын қолдану өзекті бола түсуде.

Жалпы, дипломдық жұмыс «жақсы» (85%) деп бағаланды, ал студент Салимов Бейбарыс Рамазанович 6B06201 «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы бойынша «Ақпараттық және коммуникациялық технологиялар» бакалавры академиялық дәрежесіне ұсынылады.

### Ғылыми жетекші

ЭТ және FT каф.

қауымдастырылған профессоры,  
техника ғылымдарының кандидаты

 Дараев А.М.

(қолы)

«20» мамыр 2025 ж.

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті  
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагияттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

**Автор: Салимов Бейбарыс**

**Тақырыбы: Мультиплекстеу технологияларын қолдану арқылы оптикалық талшықтық желілердің тиімділігін талдау**

**Жетекшісі: Абдумажит Дараев**

**1-ұқсастық коэффициенті (30): 6.3**

**2-ұқсастық коэффициенті (5): 3.6**

**Дәйексөз (35): 1**

**Өріптерді ауыстыру: 3**

**Аралықтар: 0**

**Шағын кеңістіктер: 31**

**Ақ белгілер: 0**

**Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :**

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

**Негіздеме:**

**2025-05-18**

*Күні*



*Кафедра меңгерушісі*



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Салимов Бейбарыс

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Мультиплекстеу технологияларын қолдану арқылы оптикалық талшықтық желілердің тиімділігін талдау

**Научный руководитель:** Абдумажит Дараев

**Коэффициент Подобия 1:** 6.3

**Коэффициент Подобия 2:** 3.6

**Микропробелы:** 31

**Знаки из других алфавитов:** 3

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-05-18

*Дата*



*Заведующий кафедрой*



## Протокол

о проверке на наличие и выявленных заимствований (плагиата)

**Автор:** Салимов Бейбарыс

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Мультиплекстеу технологияларын қолдану арқылы оптикалық талшықтық желілердің тиімділігін талдау

**Научный руководитель:** Абдумажит Дараев

**Коэффициент Подобия 1:** 6.3

**Коэффициент Подобия 2:** 3.6

**Микропробелы:** 31

**Знаки из других алфавитов:** 3

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-05-18

*Дата*



Сұғат Марқсұлы

*проверяющий эксперт*