**ЛЕКЦИЯ 1.** **ОПТИКАЛЫҚ БАЙЛАНЫС ЖЕЛІЛЕРІ: НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР**

* 1. **Оптикалық байланыс желілері мен бағыттаушы тарату жүйелерінің даму тарихына қысқаша шолуы**

Талшықты-оптикалық тарату жүйелері 30 жылдан аса қолданыста. 1970 жылдардың ортасында Корнинг төмен әлсіреген талшықты жарық бағыттағыштарын шығаруды игерді, сенімді лазерлер пайда болды және сол уақыттан бастап ТОТЖ практикалық қолданылуы басталды, талшықты жүйелердің қарқынды дамуы. 30 жыл ішінде ТОТЖ ақпарат беру жүйелерінде жетекші орынға ие болды және қазіргі қоғамның ақпараттық инфрақұрылымының маңызды буынына айналды.

1790 - Клод Чаппе жылжымалы сигнал рельстері бар семафор мұнараларының тізбегін қамтитын оптикалық телеграф тізбегін салды. Ақпарат 200 км қашықтыққа 15 минутта берілді.

1870 - Джон Тиндалл жарықтың су ағынында тарала алатындығын дәлелдеді. Оның тәжірибесі қазіргі оптикалық талшықтарда қолданылатын толық ішкі шағылысу принципін қолданды.

1880 - Александр Авраам Белл фототонды ойлап тапты, онда сөйлеу сигналдары жарық арқылы берілуі мүмкін. Ауа-райы мен көріну байланыс сапасына үлкен кері әсер етті.

1881 - жарық сәулесінің көмегімен сөйлеуді беру.

1934 - Норман Франг оптикалық кабельдер желісі арқылы сөйлеу сигналдары берілетін оптикалық телеграф жүйесіне патент алды.

1958 ж. – А.Шавлов пен К.Г.Таунс лазерді жасады.

1960 - лазердің жасалуы.

1962 жыл – жартылай өткізгіш материалдардан лазер жасау мүмкіндігі танылды, жартылай өткізгіш фотодиодтар түріндегі қабылдағыш элементтері жасалды.

1966 - Чарльз Као мен Джордж Хокен жарықты өткізу үшін шыны талшықты пайдалануды ұсынды (жарық бағыттағыштарындағы жоғалтулар 1000 дБ / км).

1970 ж. – Ж.И.Альферов бөлме температурасында жұмыс істейтін жартылай өткізгішті лазерді жасады.

1970 - Corning Glass Works талшықтағы қоспаларды кетіру жолдарын тапты және 20 дБ/км жоғалтуға қол жеткізді (дөзек = 60 мкм, F = 10 МГц).

1973 ж. – қызмет ету мерзімі 1000 сағат болатын лазерлік диодтар алынды.

1974 ж. – Градиентті көпмодалы талшық әзірленді.

1975 ж. - бөлме температурасында жұмыс істейтін бірінші коммерциялық жартылай өткізгіш лазер.

1975 ж. – оптикалық талшықтардағы шығын 2 дБ/км жетті.

1976 - Лазердің қызмет ету мерзімі 100 000 сағатқа (10 жыл) дейін өсті.

1976 ж. – ТОБЖ жұмысының спектрлік диапазонында үшінші терезе ашылды (λ = 1,55 мкм).

1976 ж. – оптикалық талшықтардағы шығын 0,5 дБ/км жетті.

1977 ж. – Лазерлердің қызмет ету мерзімі 1 миллион сағатқа дейін ұлғайтылды (100 жыл).

1978 ж. – ақпаратты беру жылдамдығы 32 Мбит/с, секция ұзындығы 53 км және жұмыс толқын ұзындығы λ = 1,3 мкм болатын ТОБЖ сынағы.

1978 ж. – оптикалық талшықта 0,2 дБ/км (λ = 1,55 мкм) әлсіреу алынды.

1978 ж. – өзек диаметрі 5 мкм және өткізу қабілеттілігі жүздеген ГГц-ке дейінгі талшықтар өндірісі игерілді. λ=1300 нм 1550 нм жартылай өткізгіш сәулелену көздері пайда болды.

1980 ж. – бірінші коммерциялық ТОБЖ (Бостон мен Ричмонд арасында – АҚШ), үш жұмыс толқын ұзындығы, градиенттік мультимодалы талшық, ақпаратты беру жылдамдығы 45 Мбит/с.

1980 жыл - Лейк-Плэсидтегі Қысқы Олимпиада ойындарынан бейне сигналды талшықты желі арқылы беру (градиентті көпмодалы талшық, λ = 0,85 мкм).

1981 жыл - ұзындығы 49 км, λ = 1,3 мкм бір режимді талшықта 140 Мбит / с сигнал беру жылдамдығы алынды. Дисперсиялық ығысқан бірмодалы талшықтармен жұмыс басталды.

1981 ж. – ақпаратты 2 Гбит/с жылдамдықпен 40 км қашықтықта қайталағышсыз жіберуге мүмкіндік беретін жарық бағыттаушы байланыс жүйесі жасалды.

1980 - 1982 жылдар – фотодетектордағы (гомодинді және гетеродиндік оптикалық жүйелер) оптикалық кері байланысы бар алғашқы тәжірибелік когерентті жарық бағыттаушы байланыс жүйелері жасалды, бұл фотодетектордың сезімталдық шегін төмендетуге мүмкіндік берді.

1987 жыл - Эрбиум оптикалық күшейткіші жасалды. Мультиплекстеумен ТОБЖ бойынша жұмыстың басталуы.

1988 ж. – бірінші мұхиттық ТОБЖ – TAT-8 (бірмодалы талшықтар, λ = 1,3 мкм).

1993 жыл – оптикалық күшейткіштерді практикалық қолданудың басталуы.

1995 ж. – Спектрлік тығыздығы бар ТОБЖ практикалық қолданудың басталуы.

1996 ж. – бір талшық арқылы деректерді берудің терабиттік кедергісі еңсерілді. AT&T, Fujitsu және NTT 55 DWDM арнасын 20 Гбит/с жылдамдықпен бір талшыққа мультиплекстеді, нәтижесінде жылдамдығы 1,1 Тбит/с болды.

1997 ж. – оптикалық адрестелетін кіріс-шығыс мультиплексорларын жасау.

1998 - 2000 жж – тығыз (DWDM) және аса тығыз (HDWDM) спектрлік бөлу мультиплексирлеу жүйелерін құру.

1999 - 2000 жж – спектрлік арналардың оптикалық қосқыштарын құру.

2000 ж. – «грубый» спектрлік мультиплексирлеу (CWDM) жүйелерін қолдану.

2000 - 2002 – өткізу қабілеттілігі 1,6 Тбит/с дейінгі DWDM жүйелері.

Сапардың басында, ең алдымен, ақпарат тарату арналары үшін өткізу қабілеттілігінің өткір тапшылығы мәселесін шешу үшін ТОБЖ-ға үміт артылды. Ақпараттандыру дәуірінің басында ақпарат ағындары қарқынды өсті, ал байланыс жүйелерінің өткізу қабілеттілігінің ұлғаюы негізінен электр беру желілері санының өсуіне байланысты болды.

Оптикалық тарату арнасы 1012 Гц-тен асатын өткізу жолағын қамтамасыз етуі керек болды, бұл кем дегенде төрт реттік магнитудасы бар тарату жүйелерімен салыстырғанда өсім берді. Көптеген жылдар бойы талшықты жүйелер ақпарат тарату арнасы ретінде талшықты шектеу мүмкіндіктеріне шынымен жақындай алды, бұл ретте алғаш рет ақпарат беру арналарының сыйымдылығының жетіспеушілігі мәселесін шеше алды: қазіргі уақытта тиімді магистральдық талшықты-оптикалық желілерді трафикпен толтыру өзекті мәселе болып табылады.

**1.2 ТОТЖ даму кезеңдері**

Өзінің дамуында ТОТЖ бірнеше кезеңдерден өтті, іргелі мәселелер шешілді, ғылым мен техника қарқынды дамыды.

Мәселелердің көпшілігі және сонымен бірге ТОБЖ негізгі жетістіктері мен мүмкіндіктері екі жүйе элементімен байланысты: оптикалық талшық және лазер. Оптикалық жүйелерді әзірлеуде әзірлеушілер екі принципті жүзеге асыруға ұмтылды: «тезірек» және «бұдан әрі».

**1-кезең**

1970 жылдардың ортасында жартылай өткізгіш лазерлер және әлсіз әлсіреген оптикалық талшықтар пайда болды. ТОБЖ үшін алғашқы лазерлердің толқын ұзындығы 0,85 мкм (талшық мөлдірлігінің бірінші терезесі) және төмен тиімділігі болды; оптикалық талшықтар көп режимді болды және бірнеше дБ/км әлсіреді. Сондықтан, ТОБЖ мыс сымды жүйелермен салыстырғанда артықшылықтарғаие болғандықтан, беру жылдамдығы мен таратылу арақашықтығы ойдағыдан да асып түсті. Алғашқы ТОБЖ-да берілу жылдамдығының артуына талшық жолы арқылы өтетін оптикалық сигналдың уақыттық дисперсиясы кедергі жасады.

Бірінші оптикалық талшықтар (сатылы сыну көрсеткіші профилі бар көпмодалы) үлкен режимаралық дисперсияға байланысты 20 МГц км-ден аспайтын өткізу қабілеттілігіне ие болды. Бұл мәселе өткізу қабілеттілігін 160 МГц км-ге дейін арттыратын градиенттік сыну көрсеткіші бар көпмодалы оптикалық талшықтарды жасау арқылы тез шешілді.

**2-кезең**

ТОБЖ дамуының келесі кезеңі ақпаратты беру диапазонының ұлғаюы болды. Ол үшін талшық жолындағы оптикалық сигналдың әлсіреуін азайту қажет болды. Екінші (1,3 мкм) спектрлік диапазонда (терезе) жұмыс істейтін қабылдағыш жабдығының дамуы мультимодалы талшықтардағы әлсіреуді 3 дБ/км (0,85 мкм)-ден 1 дБ/км (1,3 мкм) дейін төмендетуге мүмкіндік берді. Бұл ретте көпмодалы талшықтардың өткізу қабілеті 500 МГц км-ге дейін өсті.

**3-кезең**

ТОБЖ-ның «тезірек және әрі қарай» бағытында одан әрі дамуы ТОБЖ тарихындағы бір режімді кезеңмен байланысты. Бір режимді талшықтар режимаралық дисперсияның болмауына байланысты ақпаратты беру жылдамдығын айтарлықтай арттыруға мүмкіндік берді, ал үшінші спектрлік терезеге көшу (1,55 мкм) бір модалы талшықтардағы жоғалтуларды 0,35 дБ/км-ден төмендетуге мүмкіндік берді. (1,31 мкм) – 0,2 дБ/км (1,55 мкм).

Ақпаратты тасымалдау жылдамдығы мен ауқымын арттыру үшін ашылған мүмкіндіктер цифрлық ақпаратты беру жүйелерінде (синхронды цифрлық иерархиялық желілер – SDH) елеулі прогреске әкелді. Мұндай жүйелерді дамыту қажеттілігі өте жоғары болды, өйткені тасымалданатын трафик көлемі үнемі өсіп отырды, бұл ТОБЖ-ны одан әрі жетілдіру бойынша жұмысты ынталандырды. Талшықтардағы хроматикалық дисперсия бір режимді жүйелерде ақпаратты беру жылдамдығы мен диапазонының артуына кедергі келтіретіні көрсетілді. Бұл мәселе толқын ұзындығы 1,31 мкм (G.652 талшықтары) аймағында нөлдік дисперсиямен және 1,55 мкм (G.653 талшықтары) толқын ұзындығы аймағында нөлдік дисперсиямен ығысқан оптикалық талшықтарды әзірлеуде сәтті шешілді. Ақпаратты беру ауқымын ұлғайту үшін сигналды регенераторлар қолданыла бастады.

**4-кезең**

Келесі кезең - оптикалық күшейткіштерді (ОК) пайдалану, бұл тарату диапазонын тиімді арттыруға мүмкіндік берді. Оптикалық күшейткіштері бар ТОБЖ және G.653 талшығы жүз километрден астам қашықтықта ақпаратты 40 Гбит/с жылдамдықпен жіберуді қамтамасыз етті.

Жасалған ОК талшықты-оптикалық байланыстың дамуындағы ең маңызды кезеңді ашты - спектрлік бөлу мультиплексирлеуі бар жүйелер пайда болды. Олар талшықты жүйелердің мұндай қасиетін әртүрлі толқын ұзындығында, әртүрлі арналарда ақпаратты тәуелсіз беру мүмкіндігін пайдаланады. Алғашқы ТОБЖ әртүрлі спектрлік терезелерде жұмыс істеді (1,31 мкм және 1,55 мкм). Бірақ спектрлік бөлу мультиплексирлеуі бар жүйелер үшінші спектрлік терезеде (1,55 мкм) ең тиімді, өйткені бұл жағдайда бір операциялық күшейткіш терезеде орналасқан барлық ақпараттық арналарды күшейтеді.

Мұндай жүйелердің бірегей мүмкіндіктерін жүзеге асыру (тығыз толқын ұзындығын бөлу мультиплексирлеу (DWDM) және жоғары тығыздықтағы толқын ұзындығынтығыздау (HDWDM)), өз кезегінде, іргелі мәселелердің басқа сериясын шешуді талап етті.

Біріншіден, төрт толқынды араластыру мәселесі бар. Толқын ұзындығын бөлу мультиплексирлеуімен ТОБЖ құрудың ең тиімді жолы арналар санын көбейту болып табылады. Тасымалдау қашықтығын ұлғайту кезінде әрбір арнадағы оптикалық сигналдарды күшейту қажет, ал үлкен жалпы қуатта талшықта сызықты емес әсерлер пайда бола бастайды. DWDM жүйелері үшін сигнал спектрінде қажетсіз құрамдас бөліктер, қиылысулар пайда болған кезде ең маңызды әсер төрт толқынды араластыру болып табылады. Оптикалық сигналдарды декодтаудың спектрлік әдісімен бұл ақпаратты беруде елеулі қателіктерге әкелуі мүмкін. Арналардағы оптикалық сигналдардың таралу жылдамдықтары бірдей болған жағдайда төрт толқынды араластыру ең күшті әсер етеді. Осы себепті DWDM жүйелерінде нөлдік дисперсиялық ығысқан (G.653) оптикалық талшықтар пайдаланылмайды.

Екіншіден, DWDM жүйелері үшін арнайы оптикалық талшықтардан басқа, тар спектрлік сызығы бар тұрақтылығы жоғары лазерлер, сонымен қатар спектрлік мультиплексорлар/демультиплексорлар әзірленді. Бұл жұмыс циклі лазерлер мен интегралды оптикалық схемалар физикасы мен технологиясында айтарлықтай ілгерілеуді талап етті.

ТОБЖ-ның одан әрі дамуы DWDM және HDWDM жүйелеріндегі салыстырмалы түрде «төмен жылдамдықты» (бірнеше Гбит/с) арналардың санын көбейту жолымен де, ақпараттық оптикалық арнада ақпаратты беру жылдамдығын одан әрі арттыру жолымен де жүрді. Қазіргі уақытта 40 Гбит/с тарату жылдамдығы бар жүйелер коммерциялық түрде шығарылып, 100 Гбит/с тәжірибелер жүргізілуде. Дегенмен, қазірдің өзінде 10 Гбит/с жоғары жылдамдықта уақыт дисперсиясының басқа түрімен - поляризация режимінің дисперсиясымен (ПРД) байланысты шектеулер пайда болады. Бұл мәселені шешу іргелі зерттеулерді және оптикалық талшықтар мен оптикалық кабельдерді өндіру технологиясы, желіні орнату және жол параметрлерін бақылау саласындағы елеулі прогресті қажет етті.

**5-кезең**

Соңғы уақытта жоғары жылдамдықты магистральдық талшықты-оптикалық желілерге ғана емес, сонымен қатар жергілікті жүйелерге де көбірек көңіл бөлінуде. Жаппай жергілікті талшықты-оптикалық тарату жүйелері өңірлік және магистральдық талшықты-оптикалық байланыс желілерінің жүктемесін қамтамасыз етуге, талшықты-оптикалық байланыс желілерінің тиімділігін арттыруға тиіс. Бұл жағдайда көпмодалы оптикалық талшықтарды қолдану орынды. Жергілікті желілер үшін жаңа жоғары өнімді лазерлердің пайда болуы көпмодалы талшықтар негізінде ТОБЖ-да ақпаратты беру жылдамдығы мен ауқымын айтарлықтай арттыруы мүмкін. Дегенмен, бұл жағдайда мультимодалы талшықтарда «орталық түсу» мәселесі пайда болады, бұл осы талшықтарға арналған дайындамаларды өндіру технологиясының жетілмегендігімен байланысты. Талшықтың ортасында оңтайлыдан сыну көрсеткіші профилінің айтарлықтай ауытқуы қазіргі заманғы лазерлер жағдайында дисперсияның күрт өсуіне себеп болды. Бұл көпмодалы талшық мәселесі шешілді, бұл жергілікті талшықты-оптикалық желілерді және жалпы талшықты-оптикалық жүйелерді дамытуда жаңа мүмкіндіктер ашты.

Іргелі мәселелерді шешуге ТОБЖ-ның тұтынушыларға «тезірек-әрі қарай» жолымен ілгерілеуін қамтамасыз ететін байланысты технологияларды дамыту қолдау тапты. Ең маңызды жетістіктер оптикалық талшықтар мен кабельдерді өндіру технологиясында байқалды. Өнеркәсіп ТОБЖ ең жоғары параметрлерін қамтамасыз ететін оптикалық талшықтар мен кабельдердің барлық қажетті түрлерін шығарады. Бұл ретте оптикалық талшықтар өндірісінің өсімі бұрын-соңды болмаған: 1990 жылғы 6,9 млн км-ден 2000 жылғы 76,6 млн км-ге дейін – 11 есе. Талшық жолының параметрлерін орнату және өлшеудің заманауи технологиялары заманауи ТОБЖ жоғары деңгейіне толығымен сәйкес келеді. FSM-40S сияқты қосқыштар 0,02 дБ-ден аз қосылыс жоғалтуымен тиімді талшық жолын орнатуды қамтамасыз ететінін айтсақ жеткілікті. Сондай-ақ оптикалық таратқыштар мен қабылдағыштарды өндірудің жоғары технологияларын, желілік технологияларды және мультиплекстеу технологияларын дамыту, ТОБЖ дамуының ең жоғары қарқыны қамтамасыз етілді.

**1.3. Байланыс желілерінің түрлері**

Байланыс желілерінің екі түрі бар: атмосферадағы желілер (радиобайланыстар) және бағыттаушы тарату желілері.

Радиобайланыстың айрықша ерекшелігі электромагниттік сигналдардың бос кеңістікте таралуы болып табылады.

Бағыттауыш байланыс желілерінің айрықша ерекшелігі олардағы сигналдардың бір абоненттен екіншісіне таралуы электромагниттік сигналдарды берілген бағытта тиісті сапамен және берілген бағытта жіберуге арналған бағыттаушы жүйелерді құрайтын байланыс желілерінің арнайы жасалған тізбектері мен жолдары арқылы ғана жүзеге асырылады.

Байланыстың бағыттаушы желілерінің үш түрі бар - кабельдік, әуе және талшықты-оптикалық. Кабельдік және әуе желілері сым желілері ретінде жіктеледі, олардың бағыттаушы жүйелері өткізгіш-диэлектрлік жүйелерден құралады, ал талшықты-оптикалық желілер - диэлектрлік толқын өткізгіштер, олардың бағыттаушы жүйесі әртүрлі сыну көрсеткіштері бар диэлектриктерден тұрады.

Оптикалық байланыс желілерінің радио және микротолқынды байланыс жүйелерімен және бағыттаушы электр жүйелерімен салыстырғандағы артықшылықтары мен кемшіліктері 1.1 - 1.2 кестеде келтірілген.

1.1-кесте. Ашық байланыс жүйелері

|  |  |
| --- | --- |
| Артықшылықтары | Кемшіліктері |
| 1.Таратқыш пен қабылдағыш антенналарының кішірек саңылауларымен қабылданған сигнал қуатының сәулелену қуатына жоғары қатынасы.  2.Таратқыш пен қабылдағыш антенналарының кіші саңылауында жақсы кеңістіктік шешім  3. 1 км-ге дейінгі арақашықтықта байланыс үшін қолданылатын тарату және қабылдау модульдерінің шағын өлшемдері.  4.Қарым-қатынастың жақсы құпиялылығы.  5.Электромагниттік сәулелену спектрінің пайдаланылмаған қимасын жасау.  6.Байланыс антенналарын басқаруға рұқсат алудың қажеті жоқ. | 1.Лазер сәулесінің жоғары бағытталғандығына байланысты хабар таратуға жарамдылығы төмен.  2.Таратқыш пен қабылдағыш антенналарының жоғары талап етілетін меңзеу дәлдігі.  3. Оптикалық эмитенттердің тиімділігі төмен.  4.Қабылдағыштағы салыстырмалы түрде жоғары шу деңгейі, ішінара оптикалық сигналды анықтау процесінің кванттық сипатына байланысты.  5.Атмосфералық сипаттамалардың байланыс сенімділігіне әсері.  6. Аппараттық құралдардың істен шығу мүмкіндігі. |

1.2-кесте. Бағыттаушы байланыс жүйелері

|  |  |
| --- | --- |
| Артықшылықтары | Кемшіліктері |
| 1.Қайталағыштар арасындағы қашықтықты (10..50 км) ұлғайтуға мүмкіндік беретін әлсіреу және дисперсиясы төмен жарық бағыттағыштарын алу мүмкіндігі.  2.Кіші диаметрлі бір талшықты кабель.  3.Кіші радиустар астында талшықтың майысуының рұқсат етілгендігі  4.Ақпаратты өткізу қабілеті жоғары оптикалық кабельдің салмағы аз  мүмкіндіктері.  5.Жарық бағыттаушы материалдың төмен құны.  6.Электр өткізгіштігі мен индуктивтілігі жоқ оптикалық кабельдерді алу мүмкіндігі. Бұл кабель арқылы берілетін сигналдар электромагниттік әсерлерге ұшырамайтынын білдіреді, сонымен қатар терминалдық жабдық бір-бірінен электрлік оқшаулануы мүмкін және кабель кездейсоқ зақымдалған жағдайда байланыс құпиясы бұзылмайды.  7.Кішігірім кросс-кедергілер ескерілмейді.  8.Байланыстың жоғары құпиялылығы: сигналдың тармақталуы жеке талшыққа тікелей қосылғанда ғана мүмкін болады.  9.Қажетті өткізу қабілеттілігін енгізудегі икемділік: әртүрлі типтегі жарық бағыттағыштары сандық байланыс жүйелерінде электр кабельдерін ауыстыруға мүмкіндік береді.  10.Сәулелену көздерінің, оптикалық талшықтардың және жақсартылған сипаттамалары бар фотодетекторлардың пайда болуына байланысты байланыс жүйесін үздіксіз жетілдіру мүмкіндігі. | 1.Оптикалық талшықтарды қосудың қиындығы.  2.Қашықтан басқарылатын жабдықты қуатпен қамтамасыз ету үшін оптикалық кабельге қосымша электр өткізгіш өзектерді төсеу қажеттілігі.  3.Оптикалық талшықтың кабельге түскен кездегі судың әсеріне сезімталдығы.  4.Оптикалық талшықтың иондаушы сәулеленуге сезімталдығы.  5.Төмен тиімділік сәулелену қуатында шектеулі оптикалық сәулелену көздері.  6.Жартылай өткізгішті лазерлердің радиациялық сипаттамаларының сызықты еместігі, бұл олардың аналогтық сигнал беру үшін қолданылуын шектейді.  7.Үштік кодта сигналдарды беру мүмкін еместігі.  8.Уақытты бөлу шинасын пайдалану арқылы көп (параллель) қол жеткізу режимін енгізудегі қиындықтар.  9. Ресивердегі жоғары шу деңгейі. |

Мыс өткізгіштері бар электр кабельдерінің және жарық бағыттағыштары бар оптикалық кабельдердің салыстырмалы деректері 1.3-кестеде келтірілген.

1.3-кесте

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Сипаттама | Электр кабельдер | Оптикалық кабельдер |
| Жоғалту коэффициенті  Ретрансляторлар арасындағы қашықтық, км  Шуға қарсылық  Жоғары температураның өшулікке әсері  Жерге қосу (заземление)  Ақпараттың ағып кетуі  Коррозияның әсері  Электромагниттік импульстің әсері  Салмағы  Құнын төмендету үрдісі | Жоғары  3..20  Төмен  Өшулікартады  Қажетті  Мүмкін  Сезімтал  Сезімтал  Үлкен  Көрінбейді | Төмен  100-ге дейін  Жоғары  Әсер етпейді  Қажет емес  Өте қиын  Әсер етпейді  Әсер етпейді  Аз  Ілгерілеуде |

**1.4. Тест сұрақтары**

1. ТОБЖ дамуының қандай кезеңдерін анықтауға болады?

2. Оптикалық байланыс желілерінің қандай түрлері бар?

3. Өшуі төмен оптикалық талшықтар қашан пайда болды?

4. Байланыстың бағыттаушы желілерінің қандай үш түрін ажыратуға болады?

5.Ашық байланыс желілерінің артықшылықтары қандай?

6. Ашық байланыс желілерінің кемшіліктері қандай?

7. Бағыттаушы беріліс жүйелерінің артықшылықтары қандай?

8. Бағыттаушы беріліс жүйелерінің кемшіліктері қандай?