

ZAMONAVIY TOLALI OPTIK ALOQA TIZIMLARINING SAMARADORLIGINI OSHIRISH USULLARI

Mirazimova Gulnora Xasanovna

(Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU)

gmirazimova1974@gmail.com

O'zbekistonda bugungi kunlarda jamiyatimiz hayotida juda ko'p o'zgarishlar sodir bo'ldi. Iqtisodiyot, telekommunikatsiya sohasida, aloqa tarmoqlari oldida turgan vazifalar hamda maqsadlar tubdan o'zgardi. Axborotlashtirish asrida iqtisodiyotning rivojlanishi optik transport aloqa tarmoqlarining sig'imi va samaradorligi bilan aniqlanishi mumkin.

Axborotlarni uzatish tezligining ortishi fotodiodlarning sezuvchanligi va yorug'lik signallarining eltuvchisini axborotli signallar bilan modulyasiyalanish chuqurligini pasayishiga, natijada shovqindan himoyalanganlikning kamayishiga olib keladi. Bu liniya traktida qo'shimcha optik kuchaytirgichlar va optik regeneratlarni joylashtirish zaruratiga sabab bo'ladi. Bularning barchasi optik aloqa tarmoqlarining murakkablashishiga, narxining oshishiga olib keladi.

Trafik uzatishga bo'lgan talab doimiy ravishda o'sib bormoqda, bu esa zamonaviy optik tizimlarining samaradorligini oshirishga talablarni shakllantiradi. Yuqori tezlikli optik tizimlarning barqaror rivojlanishini davom ettirish uchun nafaqat mavjud texnologiyalar va yondashuvlarni rivojlantirish, balki yangi fizik g'oyalar va prinsiplarni izlash ham juda muhim, ulardan foydalanish bilan kelajak avlod ilg'or texnologiyalari yaratiladi. Tarmoqning kelgusi rivojlanishi zamonaviy optik aloqa tizimlarining imkoniyatlarini chegaralovchi faktorlarni bartaraf etilishini va tizim samaradorligini oshirishni talab etadi. Yuqoridagilar ushbu maqolaning *dolzarbligini* belgilaydi.

Masalaning qo'yilishi. Maqolada zamonaviy optik aloqa tizimlarining imkoniyatlari va ulardagi chegaralanishlar, samaradorligini oshirish usullari tahlilini amalga oshirish maqsad etilgan.

Maqsadga erishish uchun zamonaviy optik aloqa tizimlarining samaradorligini oshirishning asosiy yo'nalishlarini tahlil qilish masalalarni echish belgilangan.

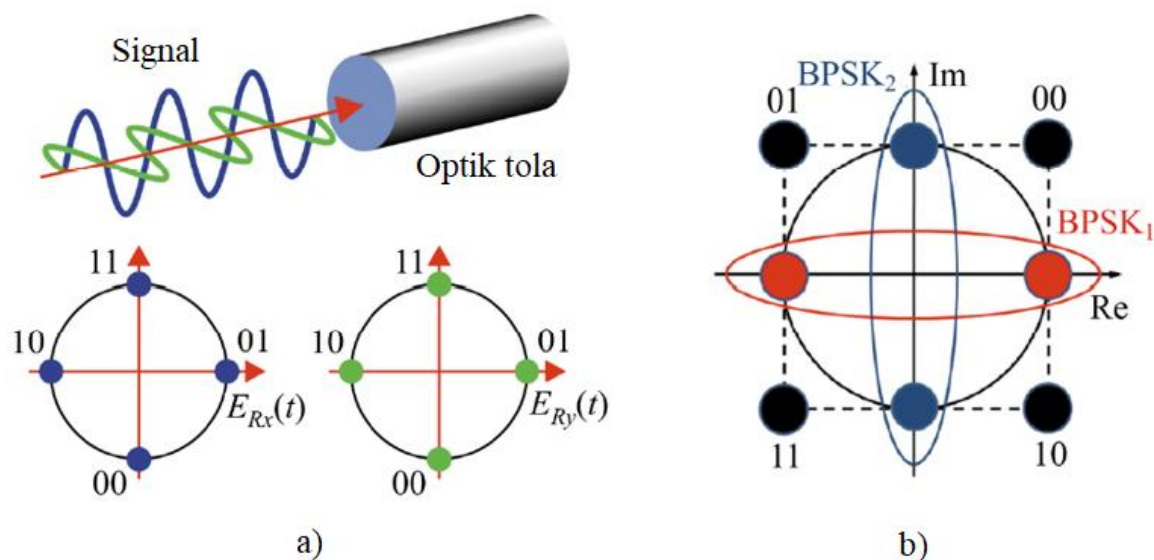
Kogerent uzatishni va signallarga raqamli ishlov berishni qo'llash, dispersiyani kamaytirish usullari va optik kuchaytirgichlardan foydalanish, optik quvvatni tanlash [1] bilan zamonaviy optik aloqa tizimlarining samaradorligini oshirishning asosiy yo'nalishlari tahlil etiladi.

Masalaning echimi. Kogerent aloqa tizimini takomillashtirish

Kogerent aloqa tizimlari elektromagnit maydonning barcha to'rt darajadagi erkinliklari - har ikkala qutblanishlarning har birida amplituda va fazadan (yoki ikkita kvadraturalardan) foydalanishga imkon beradi. Bu, masalan, DP-QPSK formatida (dual polarization – quater phase shift keying) faqat bitta quvvat sathidan foydalanish birdan har bir simvolda 4 bit uzatishga imkon beradi. Shunga ko'ra, kogerent detektorlashga o'tish simvolli tezlikni oshirmasdan, ya'ni to'lqin uzunligi bo'yicha multiplekslashda hozirda qabul qilingan chastota to'rini (50 Hz) o'zgartirmasdan, ma'lumotlarni uzatish tezligini oshirishga imkon beradi.

Shunday qilib, yangi avlod aloqa tizimlarida to'g'ridan-to'g'ri detektorlashdan kogerent detektorlashga o'tish tabiiy hisoblanadi. U kanallarni spektral va polarizatsion zichlashtirish, shuningdek spektral samarali modulyasiyalash formatlari, xususan DP-QPSK formatidan foydalanish bilan uzatiladigan ma'lumotlar hajmini oshirishga imkon beradi. So'nggi bir necha yil ichida 10 Gbit/s takroriy chastotada ishlaydigan quvvatni modulyasiyalash (OOK) tizimlari o'rniga 40 va 100 Gbit/s takroriy chastotali kogerent modulyasiyalash formatlari kelganligi tasodif emas [2-5].

DP-QPSK formatdagi optik signalning tuzilishi 1-rasmda keltirilgan. Signal ortogonal polarizatsiya bo'yicha QPSK formatdagi ikkita ma'lumotlar komponentlarini o'z ichiga oladi. Bu shuni anglatadiki, polarizatsion multiplekslash amalga oshiriladi (1, a-rasmga qarang), shuning uchun bu formatni belgilash uchun DP-QPSK qisqartmasi bilan birga PM-QPSK, qisqartmasi, ya'ni polarizatsion-multiplekslangan QPSK ishlatiladi. O'z navbatida, ikkala ortogonal polarizatsiyalangan QPSK signallarining har birini $\pi/2$ burchakka fazali siljigan ikkita ikkilik fazali BPSK signallarining kombinatsiyasi sifatida ifodalash mumkin (1, b-rasmga qarang).

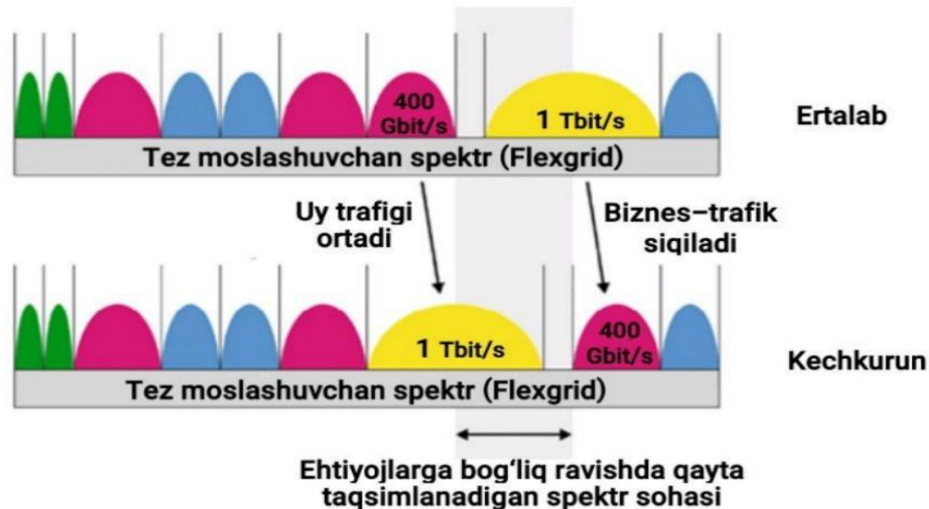


1-rasm. DP-QPSK formatdagi optik signalning tuzilishi: *a* - QPSK formatdagi ikkita signallarni polarizatsion multiplekslash; *b* - QPSK signal tuzilishi

Dasturiy-sozlanadigan tarmoqlar

Real sharoitlarda tolali optik aloqa liniyalarining (TOAL) ishlash samaradorligini uzatish tezligi va ishlatiladigan formatga bog'liq ravishda kanal egallaydigan spektral polosaning kengligini tez moslashuvchan boshqarish orqali sezilarli oshirish mumkin. Flexgrid texnologiyasida ishchi spektr bir-birlariga yaqin joylashgan tor spektral polosalar - slotlarga (odatda 12,5 Hz li) bo'linadi. Bu slotlar kerakli o'lchamdagi spektral bloklarni shakllantirish uchun birlashtirilishi mumkin [6-8]).

Flexgrid tarmoqlarida SDT transponderlaridan foydalanishda dinamik o'zgaruvchan trafik sharoitlarida tarmoqni qo'shimcha optimallashtirish imkoniyati paydo bo'ladi (2-rasm). Kanallar trafikka bog'liq ravishda o'tkazish polosasining kengligini dinamik sozlanishi mumkin, bunda bo'shagan polosa kengligidan qo'shni kanallar foydalanishi mumkin [9].



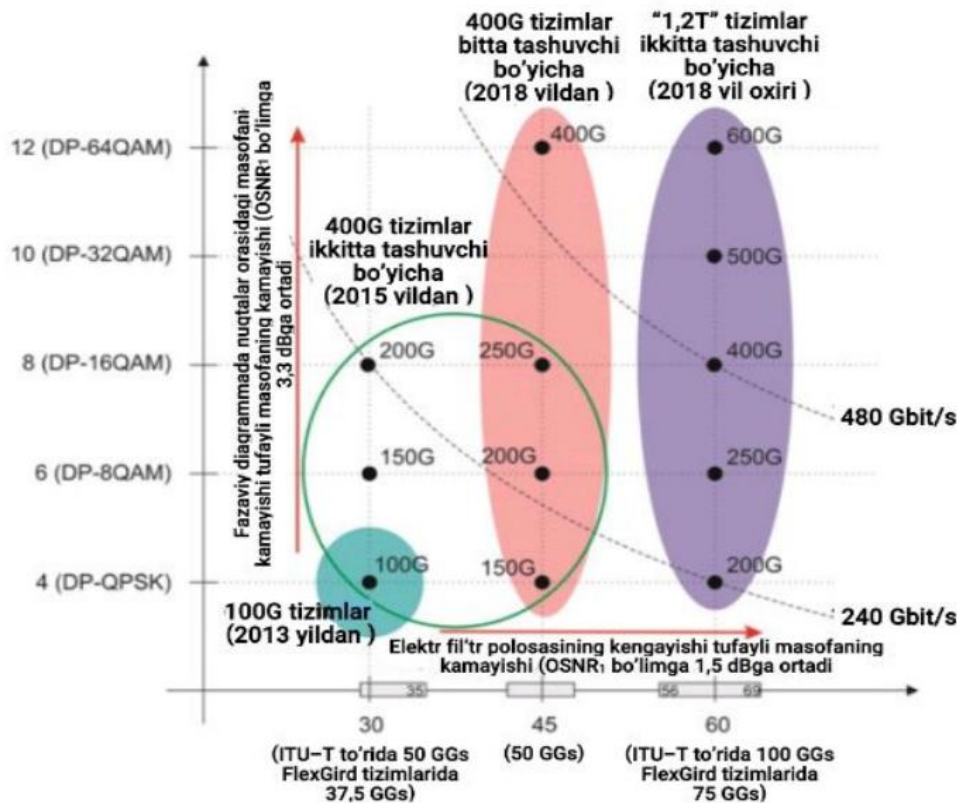
2-rasm. Kunning vaqtiga bog‘liq ravishda ikkita kanal navbatma-navbat spektrning ma‘lum bir qismidan foydalanadi [9]

DWDM tizimlarning samaradorligini oshirish usullari

“Aloqa tizimining unumdorligi” tushunchasini aloqa tizimining C to‘liq uzatish tezligining L uzatish masofasiga ko‘paytmasi sifatida aniqlaymiz. Magistral tizimlarda aloqa masofasi deganda signalni regeneratsiyalashsiz oraliq kuchaytirgichlar bilan ko‘p oraliqli liniyada uzatish masofasi nazarda tutiladi. Ravshanki, DWDM-tizimning unumdorligini ikki usullarda - bir tomondan, aloqa tizimining uzatish tezligini oshirish orqali, boshqa tomondan, maksimal uzatish masofasini oshirishga erishish orqali oshirish mumkin.

Tizimda ma‘lumotlarni uzatish tezligini oshirish. Bir xil kanallarga ega bo‘lgan tizimdagi ma‘lumotlarni uzatish tezligi kanallar sonini har bir kanaldagi tezlikka ko‘paytmasi orqali aniqlanadi. Kanaldagi tezlik ikki omillar – simaolli tezlik va simvulli samaradorlik orqali aniqlagadi (3-rasm).

Aloqa tizimidagi ma‘lumotlarni uzatish tezligi (V umumiy bit tezligi, bit/s = bod) har bir kanaldagi ma‘lumotlarni uzatish tezliklarining yig‘indisi (bir xil kanallarga ega bo‘lgan tizim uchun bu TCh kanallari sonini har bir kanaldagi VB tezlikka ko‘paytmasi [bit/s]) hisoblanadi. Bitta tolali juftlikdagi kanallarning maksimal soni joriy spektral zichlashtirish standarti orqali aniqlanadi (masalan, CWDM, DWDM 100GHz C , DWDM 50GHz $C + L$).



3-rasm. Ma'lumotlarni uzatish tezligini oshirish usullari. Gorizontaal bo'yicha: simvulli tezlik (gigasimvollar/sek) va optik tashuvchi egallaydigan spektral diapazon. Vertikal bo'yicha: simvulli samaradorlik (bit/simvol) va modulyasiyalash formati

Kanalning VB bitli tezligi VS simvulli tezlikni (simvol/s) ishlatilgan modulyasiyalash formatining simvulli samaradorligiga (bit/simvol) ko'paytmasi hisoblanadi. Boshqacha aytganda, ES parametr bitta simvol tashiydigan ma'lumotlar hajmini (ma'lumotlar bitlari sonini) aniqlaydi va algoritm quvvatining 2 asosli logarifmi (simvol qabul qilishi mumkin bo'lgan qiymatlar soni) sifatida ifodalanadi.

Kanallar soni mavjud spektral diapazon bilan cheklangan (odatdagi EDFA kuchaytirgichlaridan foydalanilganda - taxminan 1530 - 1565 nm, bu 50 GHzli 48 ta kanallarga yoki 50 GHzli 96 ta kanallarga to'g'ri keladi; FlexGrid -moslashuvchan spektrli texnologiyalardan foydalanilganda kanallar soni boshqacha bo'lishi mumkin).

Aloqa tizimining spektral samaradorligi ma'lumotlarni uzatish tezligini (bit/s) o'tkazish polosasi kengligiga (Hz) ga nisbati hisoblanadi va (bit/s/Hz) bilan o'lchanadi.

Spektral samaradorlik ixtiyoriy aloqa tizimida chastotalar polosasidan qanchalik samarali foydalanilishni xarakterlaydi.

Optik superkanallar texnologiyasining mohiyati shundan iboratki, ma'lum bir sonli (odatda ikkita dan o'ngacha) chastotalar kanallari agregatsiyalangan superkanalga birlashtiriladi, u optik tarmoqdan o'tishida optik qurilmalar orqali bitta kanal sifatida marshrutlashtiriladi. Spektral samaradorlikni (demak qayd etilgan uzatish polosasida aloqa tizimining o'tkazish qobiliyatini) oshirish uchun maksimal zichlikka ega kanallarni tashkil qilish kerak [8].

Signallarni modulyasiyalash spektri to'g'ri burchakli bo'lgan kanallarni iloji boricha zichroq joylashtirish mumkin. Berilgan spektral xarakteristikalariga ega bo'lgan signallarni shakllantirish usullari "spektral samaradorlik" deyiladi. Bunday kanallarni zich joylashtirish texnologiyasi

Naykvist-WDM deyiladi va tejankor tijorat aloqa tizimlarini yaratish maqsadida ham nazariy, ham eksperimental keng tadqiq qilinadi.

1) Simvulli tezlikni oshirish

Zamonaviy aloqa tizimlarining transponderlarida 30 va 40 Gbod simvulli tezliklar qo'llaniladi, binobarin, 30 Gbod atrofidagi simvulli tezlikka ega bo'lgan aloqa tizimlari eng keng qo'llaniladi. DP-QPSK formatidan foydalanish bilan ma'lumotlar uzatish tezligi 100 Gbit/s bo'lgan eng keng tarqalgan kogerent transponderlarda aynan shu simvulli tezliklar qo'llaniladi.

100 Hz li polosada bitta tashuvchidan foydalanish bilan (masalan, DP-16QAM formatidan va 60 Gbod simvulli tezlikdan foydalanish bilan) ma'lumotlarni uzatish tezligini 400 Gbit/s ga etkazishga imkon beradi.

Simvulli tezlikni oshirishda asosiy to'siq elektronikaning cheklangan tezkorligi hisoblanadi. Buni optik texnologiyalar, xususan, "spektral yopishtirish" [5] yoki vaqt bo'yicha optik multiplekslashdan (OTDM texnologiyasi) [6, 7] foydalanish bilan engib o'tish mumkin. OTDM texnologiyasidan foydalanish bilan simvulli tezliklar 100 Gboddan oshib ketdi, bu elektron usullardan foydalanishda hali mumkin emas. OTDM va spektral zichlashtirish texnologiyalarining asosiy kamchiligi qurilmalarning yuqori narxi va fotonik-elektron integratsiyasining murakkabligi hisoblanadi.

2) Ko'p sathli modulyasiyalash formatlari. Tarixiy jihatdan birinchi bo'lib NRZ (Non-Return-to-Zero) va RZ (Return-to-Zero) modifikatsiyalarida optik nurlanishni amplitudaviy modulyasiyalash formatlari paydo bo'ldi, bunda RZ kodi tolalashi nochoziqli buzilishlariga barqarorroq bo'ldi. Ular 10 Gbit/s gacha ma'lumotlarni uzatish tezligini ta'minladi.

Amplitudaviy modulyasiyalash formatidan foydalanish 40 Gbit/s dan yuqori tezlikda qiyin bo'ldi, chunki optik spektrning kengligi DWDM-tizimlarining kanallararo intervali bilan teng bo'lib qoladi. Bu fakt, shuningdek amplitudaviy modulyasiyalangan signallarning nochoziqli buzilishlarga nobaqarorligi, fazaviy modulyasiyalash formatlariga o'tishga olib keldi, bu erda ma'lumotlarni optik signal fazasi yoki qo'shni simvollarning fazalar farqi (kelgan simvol fazasining noaniqligittufayli ko'pincha aynan differensial kodlash talab qilinadi) tashiydi.

Optik tolali aloqa tizimlarini yanada rivojlantirish, yanada murakkab modulyasiyalash formatlarini (DP-16QAM, DP-64QAM va boshqalarni) ishlatishga asoslangan bo'lishi mumkin, ular spektral samaradorlikni va mos ravishda operator uchun birlamchi polosalar kengligida tezlikni sezilarli oshirishga imkon beradi.

128QAM va hattoki 256QAM formatlari bilan olib borilayotgan eksperimentlar haqida xabarlar mavjud. Bunday formatlar qayd etilgan polosada qisqa liniyalar uchun ma'lumotlar uzatish tezligida sezilarli yutuqlarni beradi. Tezliklardagi yutuqlarga bunday formatlarning katta ma'lumotlar sig'imi hisobiga erishiladi: DP-QPSK formatidagi bitta simvol 4 bitni, DP-256QAM formatidagi bitta simvol esa 16 bitni tashiydi. DP-16QAM formatidan foydalanish bilan tarmoqlarda 200G va 400G tizimlarini joriy etish mumkin.

Zamonaviy echimlarda signalning barcha parametrlari - amplituda, faza va yorug'lik nurlanishining polarizatsiyasi bir vaqtning o'zida ishlatiladi. Bugungi kunda 100 Gigabitli tizimlar uchun eng keng tarqalgan format DP-QPSK (Dual Binary Quadrature Shift Keying) bo'lib, bunda ma'lumotlar ikkita polyarizatsiya holatlari va to'rtta fazalar qiymatlari bilan kodlanadi.

Mos DP-16QAM va DP-64QAM modulyasiyalash formatlari spektral samaradorlikni sezilarli oshiradi va odatdagi 50 GHz li polosada ma'lumotlarning yuqori uzatish tezligini ta'minlaydi. Optik kanallar zich joylashtiriladigan zamonaviy DWDM-echimlarda bo'sh kanallararo intervallar mavjud emas, demak spektral samaradorlikni oshirish ishlatiladigan spektrni kengaytirmasdan tizimdagi ma'lumotlarni uzatish tezligini oshirishning yagona usuli hisoblanadi. Bu amplitudaviy modulyasiyalash formatlaridan murakkab fazaviy kogerent modulyasiyalash

formatlariga o'tishning asosiy sabablaridan biri hisoblanadi. Bunday yutuqqa to'lov uzatish masofasini kamayishi hisoblanadi.

3) Tashuvchilar sonini oshirish. Kanallar sonini oshirish yangi spektral diapazonlarni o'zlashtirish bilan bo'lishi mumkin, bu optik kuchaytirgichlarning cheklangan samarali polosasi tufayli qiyin bo'ladi

Yana bir yo'nalish o'zlashtirilgan optik diapazondagi kanallararo intervalni kamaytirish hisoblanadi. Bu yangi spektral zichlashtirish standartiga o'tishni talab qiladi va kanallararo halaqitlarni ortishiga olib kelishi mumkin.

Xulosa. Optik nurlanish manbalari nurlanishining spektral kengayishi tufayli tizim imkoniyatlarini chegaralanadi. Spektr kengligi manbaning (yorug'lik diodi yoki lazerning) nurlanish spektri kengligi va modulyasiyalovchi signal spektrining kengligiga bog'liq.

DWDM multiplekslash tizimlarida nurlanish spektri kengligi $\Delta\lambda < 0,1$ nm yoki $\Delta f < 100$ MHz baholash qiymatlari qabul qilingan. Lazer diodini qo'llash nurlanish spektri kengligini kamaytiradi, tizim imkoniyatlarini oshiradi. Shuningdek boshlangich NRZ kodiinigi spektral xarakteristikasi ham keng, bu ham tizim imkoniyatlari chegaralaydi.

Doimo magistral aloqa tarmoqlarida trafikning eksponensial o'sishini saqlanmoqda, u har 7 yilda taxminan 10 baravar ortmoqda. Bu o'sish sur'atlari saqlanishida taxminan 2025 yilga kelib mavjud texnologik zaxira (bu nazariy jihatdan bir tola bo'yicha 100 Tbit/s tezlikka erishishga imkon beradi) hisobiga o'tkazish qobiliyatini oshirishning barcha imkoniyatlari tugaydi.

Trafikning hozirgi o'sish sur'atlarini yanada saqlaydigan yangi texnologiyalar va yondashuvlarni ishlab chiqish zarurligi aniq. Kelgusi yillarda aloqa tizimlarining unumdorligini oshirishdagi taraqqiyot kogerent detektorlash va signallarga raqamli ishlov berish bilan birga spektral samarali modulyasiyalash formatlarini joriy etish va takomillashtirishga asoslanadi.

Istiqbolda magistral aloqa tizimlarini rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlari ishlatiladigan spektral diapazonni kengaytirish, fotonika va elektronika integratsiyalash, ko'p modali va ko'p o'zakli tolalarni va mos optik kuchaytirgichlarni ishlab chiqarish bo'ladi.

Optik uzatish tizimlarining samaradorligini oshirish uchun yangi nanotuzilmali materiallarni (lazerlar, fotodetektorlar, optik modulyatorlar uchun), optik modulyasiyalashning yangi formatlarini joriy etish yordamida elementlar asosini rivojlantirish, istiqbolli optik zichlashtirish usullarini qo'llash, stabil kogerent optik manbalardan, optik kuchaytirgichlardan, dispersiya kompensatorlaridan foydalanish zarur.

Yangi turdagi tolalarni qo'llab, optik modulyasiyalashning yangi formatlarini ishlatib, kichik spektrli nurlanish manbalaridan foydalanib, dispersiyani kamaytirish, optik kuchaytirgichlar yordamida aloqa masofasini uzaytirish yordamida axborotlarni uzatishning imkoniyatlarini oshirish mumkin. Bu masalalar tizim samaradorligini, uzatish sifatini oshirish va tarmoqni kelgusi rivojlanishiga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Mirazimova G. About Quality of Optical Channels in Wavelength Division Multiplexing Systems of Optic Fibers. TELKOMNIKA, Vol.16, No.5, October 2018, pp.2005~2013
2. Трещиков В.Н. Разработка DWDM-системы емкостью 25 Тбит/с // Фотон-экспресс. – 2013. – № 2 (106). – С. 24–28.
3. Н.В. Гуркин, О.Е. Наний, В.Н. Трещиков, Р.Р. Убайдуллаев, Производительность когерентных DWDM-систем с канальной скоростью 100 Гбит/с // Вестник связи. – 2013. – № 2. – С. 39–40.
4. Трещиков В.Н., Наний О.Е. Новое поколение систем связи // Фотон-экспресс. – 2014. – № 4 (116). – С. 18–20.
5. А.В. Леонов, О.Е. Наний, М.А. Слепцов, В.Н. Трещиков, Тенденции развития оптических систем дальней связи. ООО «Т8», Москва, Россия 2016

6. High symbol rate coherent optical transmission systems: 80 and 107 Gbaud / G. Raibon [et al.] // Journal of Lightwave Technology. – 2014. – Vol. 32, № 4. – P. 824–826.
7. А.Г. Новиков, В.Н. Трещиков, С.О. Плаксин, А.Ю. Плоцкий, О.Е. Наний, Перспективные DWDM-системы связи со скоростью 20 Тбит/с на соединение / // Фотон-экспресс. – 2012. – № 3 (99). – С. 34–38.
8. Wright P., Lord A., Velasco L. The network capacity benefits of flexgrid // ONDM. – 2013.
9. Основы технологии DWDM. Компания Т8. «Т8» — ведущий производитель телекоммуникационного оборудования спектрального уплотнения (DWDM) для оптических сетей связи в России и странах СНГ. E-mail: info@t8.ru www.t8.ru.