

# MUHANDISLIK

## & IQTISODIYOT

*ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,  
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal*

**2026-YIL**  
**IYUN/6-SON, IV-QISM**



Milliy nashrlar

OAK: <https://oak.uz/pages/4802>

05.00.00 - Texnika fanlari

08.00.00 - Iqtisodiyot fanlar



Google  
Scholar

ISSN INTERNATIONAL  
STANDARD  
SERIAL  
NUMBER  
INTERNATIONAL CENTRE

OpenAIRE



ISSN: 3060-463X



# **muhandislik** **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,  
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Elektron nashr, 2026-yil, iyun.

## **Bosh muharrir:**

**Zokirova Nodira Kalandarovna**, iqtisodiyot fanlari doktori, DSc, professor

## **Bosh muharrir o'rinbosari:**

**Shakarov Zafar G'afrovich**, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, PhD, dotsent

## **Tahrir hay'ati:**

**Abduraxmanov Kalendar Xodjayevich**, O'z FA akademigi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

**Sharipov Kongratbay Avezimbetovich**, texnika fanlari doktori, professor

**Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich**, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

**Abduraxmanova Gulnora Kalandarovna**, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

**Shaumarov Said Sanatovich**, texnika fanlari doktori, professor

**Turayev Bahodir Xatamovich**, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

**Nasimov Dilmurod Abdulloyevich**, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

**Allayeva Gulchexra Jalgasovna**, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

**Arabov Nurali Uralovich**, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

**Maxmudov Odiljon Xolmirzayevich**, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

**Xamrayeva Sayyora Nasimovna**, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

**Bobonazarova Jamila Xolmurodovna**, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

**Irmatova Aziza Baxromovna**, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

**Bo'taboyev Mahammadjon To'ychiyevich**, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

**Shamshiyeva Nargizaxon Nosirxuja kizi**, iqtisodiyot fanlari doktori, professor,

**Xolmuxamedov Muhsinjon Murodullayevich**, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

**Xodjayeva Nodiraxon Abdurashidovna**, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

**Amanov Otabek Amankulovich**, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

**Toxirov Jaloliddin Ochil o'g'li**, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

**Qurbonov Samandar Pulatovich**, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

**Zikriyoyev Aziz Sadulloyevich**, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

**Tabayev Azamat Zaripbayevich**, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

**Sxay Lana Aleksandrovna**, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

**Ismoilova Gulnora Fayzullayevna**, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

**Djumaniyazov Umrbek Ilxamovich**, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

**Kasimova Nargiza Sabitdjanovna**, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

**Kalanova Moxigul Baxritdinovna**, dotsent

**Ashurzoda Luiza Muxtarovna**, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

**Sharipov Sardor Begmaxmat o'g'li**, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

**Tursunov Ulug'bek Sativoldiyevich**, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent

**Bauyetdinov Majit Janizaqovich**, Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti dotsenti, PhD

**Botirov Bozorbek Musurmon o'g'li**, Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

**Sultonov Shavkatjon Abdullayevich**, Kimyo fanlari doktori, (DSc)

**Jo'raeva Malohat Muhammadovna**, filologiya fanlari doktori (DSc), professor.

**Yusupov Maxamadamin Abduxamidovich**, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor

**Kalonova Moxigul Baxritdinovna**, iqtisodiyot fanlari nomzodi (PhD), dotsent

**Mirzayev Kulmamat Djanzakovich**, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor.

**Karimova Nilufar Sadirdin qizi**, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

**Norboyev Odil Abrayevich**, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

**Nasimov Dilmurod Abdulloyevich**, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

**Mirzayev Kulmamat Djanzakovich**, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

**Karimova Nilufar Sadirdin qizi**, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

**Pardaev Umidjon Uralovich**, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

**Xolmirzayev Ulug'bek Abdulazizovich**, Iqtisodiyot fanlari doktori (DSc)

# muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,  
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

- 05.01.00 – Axborot texnologiyalari, boshqaruv va kompyuter grafikasi  
05.01.01 – Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va video texnologiyalari  
05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash  
05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari  
05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti  
05.01.05 – Axborotlarni himoyalash usullari va tizimlari. Axborot xavfsizligi  
05.01.06 – Hisoblash texnikasi va boshqaruv tizimlarining elementlari va qurilmalari  
05.01.07 – Matematik modellashtirish  
05.01.11 – Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt  
05.02.00 – Mashinasozlik va mashinashunoslik  
05.02.08 – Yer usti majmualari va uchish apparatlari  
05.03.02 – Metrologiya va metrologiya ta'minoti  
05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash  
05.05.03 – Yorug'lik texnikasi. Maxsus yoritish texnologiyasi  
05.05.05 – Issiqlik texnikasining nazariy asoslari  
05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari  
05.06.01 – To'qimachilik va yengil sanoat ishlab chiqarishlari materialshunosligi  
05.08.03 – Temir yo'l transportini ishlatish  
05.08.06 – "G'ildirakli va gusenisali mashinalar va ularni ishlatish" (texnika fanlari)  
05.09.01 – Qurilish konstruksiyalari, bino va inshootlar  
05.09.04 – Suv ta'minoti. Kanalizatsiya. Suv havzalarini muhofazalovchi qurilish tizimlari  
10.00.06 – Qiyosiy adabiyotshunoslik, chog'ishtirma tilshunoslik va tarjimashunoslik  
10.00.04 – Yevropa, Amerika va Avstraliya xalqlari tili va adabiyoti  
08.00.01 – Iqtisodiyot nazariyasi  
08.00.02 – Makroiqtisodiyot  
08.00.03 – Sanoat iqtisodiyoti  
08.00.04 – Qishloq xo'jaligi iqtisodiyoti  
08.00.05 – Xizmat ko'rsatish tarmoqlari iqtisodiyoti  
08.00.06 – Ekonometrika va statistika  
08.00.07 – Moliya, pul muomalasi va kredit  
08.00.08 – Buxgalteriya hisobi, iqtisodiy tahlil va audit  
08.00.09 – Jahon iqtisodiyoti  
08.00.10 – Demografiya. Mehnat iqtisodiyoti  
08.00.11 – Marketing  
08.00.12 – Mintaqaviy iqtisodiyot  
08.00.13 – Menejment  
08.00.14 – Iqtisodiyotda axborot tizimlari va texnologiyalari  
08.00.15 – Tadbirkorlik va kichik biznes iqtisodiyoti  
08.00.16 – Raqamli iqtisodiyot va xalqaro raqamli integratsiya  
08.00.17 – Turizm va mehmonxona faoliyati

Ma'lumot uchun, OAK  
Rayosatining 2024-yil 28-avgustdagi 360/5-son qarori bilan "Dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxati"ga texnika va iqtisodiyot fanlari bo'yicha "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali ro'yxatga kiritilgan.

**Muassis:** "Tadbirkor va ishbilarmon" MChJ

**Hamkorlarimiz:**

1. Toshkent shahridagi G.V.Plexanov nomidagi Rossiya iqtisodiyot universiteti
2. Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti
3. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti
4. Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
5. Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
6. Toshkent davlat transport universiteti
7. Toshkent arxitektura-qurilish universiteti
8. Toshkent kimyo-texnologiya universiteti
9. Jizzax politexnika instituti



# MUNDARIJA

EPOKSID-DIAN VA FENOLFORMALDEGID GIBRID BOG'LOVCHISI ASOSIDA YUQORI YEYILISH VA KORROZIYABARDOSH ANTIFRIKSION QOPLAMALAR YARATISH .....	10
<b>Bakirov Lutfillo Yuldoshaliyevich</b>	
O'ZBEKISTONDA TURIZM SOHASIDA DAVLAT-XUSUSIY SHERIKLIKNI BOSHQARISH VA TARTIBGA SOLISHNING USTUVOR YO'NALISHLARI.....	16
<b>Mamayusupova Dilovarxon, Maxmudaliyeva Manzuraxon, Toyirjonov Shokirjon</b>	
FRANSUZ, RUS VA O'ZBEK TILLARI SPORT TURIZMI TERMINLARINING LEKSIK-SEMANTIK VA LINGVOMADANIY TADQIQI.....	20
<b>Ma'rupova Gulnoz</b>	
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ХРАНЕНИЯ ПЛОДОВ В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН.....	24
<b>Муратов Абдулазиз Уктамович</b>	
DIGITAL TRANSFORMATION AND EMERGING TRENDS IN INFORMATION TECHNOLOGY.....	29
<b>Daminova Barno, Esmurodova Zarnigor, Boltayev Javohir, Kuziboyeva Lobar</b>	
FRANSUZ, RUS VA O'ZBEK TILLARI SPORT TURIZMI TERMINLARINING LEKSIK-SEMANTIK VA LINGVOMADANIY XUSUSIYATLARI.....	34
<b>Ma'rupova Gulnoz Umarjonovna</b>	
MINTAQA IQTISODIY O'SISHIDA XIZMATLAR SOHASI TARKIBIY O'ZGARISHLARINING STATISTIK TAHLILI: XORAZM VILOYATI MISOLIDA .....	38
<b>Raximov Alisher Ibragimovich</b>	
KREDIT SKORINGIDA XULQ-ATVOR OMILLARINI BAHOLASH: NAZARIY ASOSLAR VA AMALIY QO'LLANILISHI .....	45
<b>BekmurodovAbbos Amiriddinovich</b>	
ECONOMETRIC INVESTIGATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION ACTIVITIES IN KARAKALPAKSTAN REPUBLIC.....	49
<b>Makhambetova Uringul Reimbaevna</b>	
GETEROKOMPOZIT POLIMER QOPLAMALAR SIRTINING SHAKLLANISHI VA ULARNING PAXTA TOLALARI SIFATIGA TA'SIRINI TADQIQ ETISH .....	55
<b>Bakirov Lutfillo Yuldoshaliyevich</b>	
GRADIENT BOOSTING (XGBOOST) VA TEGISHLILIK FUNKSIYALARIGA TAYANGAN STATISTIK KLASSIFIKATSIYA USULINING SOLISHTIRMA BAHOLANISHI .....	62
<b>Ergasheva Ma'mura Gayratovna</b>	
QURILISH SOHASIDA KICHIK VA YIRIK BIZNES SUBYEKTLARI INTEGRATSIYASI SAMARADORLIGINI EKONOMETRIK BAHOLASH.....	69
<b>Axmedova Nilufar Shuxratovna</b>	
LARAVEL PLATFORMASIDA NEYROTARMOQLARNI QO'LLASH ORQALI FOYDALANUVCHI XATTI-HARAKATLARINI BASHORAT QILISH VA TAVSIYA TIZIMLARINI YARATISH .....	74
<b>Jo'rayev To'xtasin, Abdusattarov Odiljon, Boymatov Mexrojiddin, Maxkamov A'zimjon, Nabijonov Abduqodir</b>	
BEHIND THE 30% TARGET: A CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR WOMEN'S ACADEMIC LEADERSHIP IN UZBEK UNIVERSITIES .....	82
<b>Farida Nishanova</b>	
QURILISH SANOATIDA TADBIRKORLIK FAOLIYATINI RIVOJLANTIRISH: NAZARIY-METODOLOGIK ASOSLAR VA AMALIY YONDASHUVLAR .....	87
<b>Abdullayev Axror Jaxbarovich</b>	
BALIQCILIKDA INNOVATSION TEXNOLOGIYALARNI JORIY ETISHNING OBYEKTIV ZARURIYATI .....	92
<b>Iskandar Yunusov</b>	



TADBIRKORLIK SUBYEKTLARINI KREDITLASHDAGI BANK KREDIT RISKLARINI PASAYTIRISH YO'LLARI.....	98
<b>Toymuxamedov Ibrohim Rixsiboyevich</b>	
KO'P KVARTIRALI UY-JOY FONDINI BOSHQARISHDA PROFESSIONAL XIZMAT KO'RSATISH TIZIMINI TAKOMILLASHTIRISHNING TASHKILIY-IQTISODIY MEKANIZMLARI .....	108
<b>Rahimov Qodir Ergashevich</b>	
НИЗКОУГЛЕРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА КАК НАПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ УЗБЕКИСТАНА .....	115
<b>Расулкулов Жамшидбек Акрамкулович</b>	
ERKIN IQTISODIY ZONALARNING MOHIYATI VA ULARNING PRINSIPLARI .....	124
<b>Ubaydullayev Muxammadjon, Akbarov Diyorbek</b>	
RAQAMLI TRANSFORMATSIYA SHAROITIDA MEHMONXONA XIZMATLARINI AVTOMATLASHTIRISHNING IQTISODIY AFZALLIKLARI.....	128
<b>Raxmonova Nigina Anvarovna</b>	
EMPLOYEE WELL-BEING IN POST-REFORM UZBEKISTAN: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW AND RESEARCH AGENDA .....	132
<b>Farida Nishanova</b>	
TIJORAT BANKLARI TOMONIDAN TADBIRKORLIK SUBYEKTLARINI MOLIALASHTIRISHNI TAKOMILLASHTIRISH MEKANIZMLARI .....	137
<b>Inobatov Abror Boshlarovich</b>	
REAL SEKTORNING INSTITUTSIONAL TARKIBI VA TRANSFORMATSIYA TENDENSIYALARI.....	144
<b>Isroilova Muhabbat Rustamjon qizi</b>	
ОБЕСПЕЧЕНИЕ РОСТА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ФИРМЕННЫХ МАГАЗИНОВ «SAG EXPRESS») .....	151
<b>Мусаева Шоира Азимовна</b>	
О'ZBEKISTONDA YALPI ICHKI MAHSULOT DINAMIKASINING ICHKI ISTE'MOLGA TA'SIRI .....	161
<b>Djumayev Zayniddin Axmedovich</b>	
О'ZBEKISTON TASHQI IQTISODIY FAOLIYATIDA KICHIK BIZNES O'RNINI OSHIRISHNING STATISTIK USULLARDAGI TAHLILI.....	166
<b>Yadgarova Nigora Rixsulla qizi</b>	
KATTA HAJMDAGI MA'LUMOTLARNI REAL VAQT REJIMIDA VIZUALIZATSIYA QILISH UCHUN ADAPTIVE M4 GEOMETRIK-PERSEPTUAL AGREGATSIYA ALGORITMI.....	170
<b>Nuraliyev Faxriddin, Hotamov Farhod, Muxamedjonova Zuxra</b>	
АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ В РАЗВЕТВЛЁННЫХ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЯХ (PON).....	175
<b>Киямов Рахматулло Рузиевич</b>	



# АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ В РАЗВЕТВЛЁННЫХ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЯХ (PON)

Киямов Рахматулло Рузиевич

учитель

Узбекистан, Кашкадарьинская область,

Касбинский район, техникум № 5

E-mail: [rahmatullo.kiyamov@mail.ru](mailto:rahmatullo.kiyamov@mail.ru)

**Аннотация:** Рассматривается задача повышения пропускной способности разветвлённых пассивных оптических сетей (PON) на основе адаптивного управления параметрами передачи данных. Разработан алгоритм оптимизации пропускной способности, предусматривающий динамический выбор формата модуляции, распределение полосы пропускания и мощности передачи с учётом качества каналов абонентских терминалов. Предложенный подход обеспечивает максимально эффективное использование спектральных и энергетических ресурсов сети при соблюдении ограничений по вероятности битовой ошибки (BER) и оптическому отношению сигнал/шум (OSNR). Полученные результаты показывают возможность достижения суммарной пропускной способности до 1,6 Тбит/с при использовании восьми каналов с полосой 50 ГГц и модуляцией 16-QAM.

**Ключевые слова:** PON, пропускная способность, оптимизация, OSNR, BER, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, DBA, оптические сети связи.

**Abstract:** The problem of increasing the throughput of branched passive optical networks (PONs) is examined through adaptive control of data transmission parameters. A throughput optimization algorithm is developed based on dynamic modulation format selection, bandwidth allocation, and transmission power distribution, taking into account the channel quality of subscriber terminals. The proposed approach enables the efficient use of the network's spectral and energy resources while meeting the constraints on bit error rate (BER) and optical signal-to-noise ratio (OSNR). The obtained results demonstrate the feasibility of achieving a total throughput of up to 1.6 Tbps using eight 50 GHz channels and 16-QAM modulation.

**Keywords:** PON, throughput, optimization, OSNR, BER, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, DBA, optical communication networks.

**Annotatsiya:** Tarmoqlangan passiv optik tarmoqlarda (PON) ma'lumotlar uzatish parametrlarini moslashuvchan boshqarish orqali o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirish masalasi ko'rib chiqilgan. Abonent terminallari kanallarining sifatini hisobga olgan holda modulyatsiya formatini dinamik tanlash, o'tkazuvchanlik qobiliyatini taqsimlash va uzatish quvvatini boshqarishga asoslangan optimallashtirish algoritmi ishlab chiqilgan. Taklif etilgan yondashuv bit xatolik ehtimoli (BER) va optik signal-shovqin nisbati (OSNR) bo'yicha cheklolarga rioya qilgan holda tarmoqning spektral hamda energetik resurslaridan samarali foydalanishni ta'minlaydi. Olingan natijalar sakkizta 50 GHz polosali kanal va 16-QAM modulyatsiyasidan foydalanilganda umumiy o'tkazuvchanlik qobiliyatini 1,6 Tbit/s gacha yetkazish mumkinligini ko'rsatadi.

**Kalit so'zlar:** PON, o'tkazuvchanlik qobiliyati, optimallashtirish, OSNR, BER, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, DBA, optik aloqa tarmoqlari.

## ВВЕДЕНИЕ

Современные телекоммуникационные сети характеризуются непрерывным ростом объёмов передаваемой информации, что требует повышения эффективности использования ресурсов каналов связи [1–3]. Одним из наиболее распространённых решений в сетях доступа являются пассивные оптические сети (PON), использующие древовидную архитектуру распределения оптического сигнала между множеством абонентов [4–6].

Основными факторами, влияющими на производительность PON-сетей, являются потери мощности в разветвителях, неоднородность длин абонентских линий, ограниченный энергетический бюджет и требования к качеству передачи данных. В связи с этим актуальной задачей является разработка методов адаптивной оптимизации пропускной способности, обеспечивающих эффективное распределение ресурсов сети при сохранении требуемых показателей качества обслуживания.

Целью исследования является разработка алгоритма оптимизации пропускной способности разветвлённой пассивной оптической сети на основе адаптивного выбора параметров передачи данных [7–9].

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Теоретические основы построения волоконно-оптических систем связи подробно рассмотрены в трудах Агравала Г. П. Автор исследовал особенности распространения оптических сигналов в волоконных линиях связи, влияние шумов и дисперсии на качество передачи информации, а также вопросы повышения пропускной способности оптических каналов<sup>1</sup>. Результаты его исследований стали основой для дальнейшего развития высокоскоростных оптических сетей.

Значительный вклад в развитие архитектуры современных оптических сетей внесли Рамасвами Р. и Сиварджан К. Н. В своих работах учёные рассмотрели принципы построения оптических сетей связи, методы спектрального уплотнения каналов и способы эффективного распределения ресурсов между пользователями сети<sup>2</sup>. Проблема организации пассивных оптических сетей доступа посвящены исследования Крамера Г., Мукерджи Б. и Пешао Дж. В их работах анализируются особенности функционирования сетей EPON и GPON, механизмы распределения полосы пропускания и методы повышения эффективности обслуживания абонентов<sup>3</sup>.

Вопросы динамического распределения полосы пропускания получили развитие в исследованиях МакГарри М., Рейслайна М. и Маера М. Учёные разработали ряд алгоритмов распределения сетевых ресурсов, позволяющих повысить эффективность использования канала связи при изменяющейся нагрузке<sup>4</sup>. Их результаты показали, что адаптивные методы управления способны значительно снизить задержки передачи данных и повысить общую производительность сети.

Особое место в исследованиях занимают работы Винцера П. Дж., посвящённые вопросам повышения спектральной эффективности оптических систем связи<sup>5</sup>. Учёный доказал, что использование многоуровневых форматов модуляции позволяет существенно увеличить объём передаваемой информации без расширения полосы частот. В его исследованиях подробно рассмотрены преимущества и ограничения различных методов модуляции в современных сетях связи.

Проблемы оценки качества передачи данных в оптических сетях исследованы в трудах Десюрвира Э. Автор уделил большое внимание анализу оптического отношения сигнал/шум и его влиянию на вероятность битовой ошибки<sup>6</sup>. Полученные результаты нашли широкое применение при проектировании высокоскоростных сетей передачи данных.

Вопросы оптимизации энергетических параметров оптических систем отражены в исследованиях Томкоса И. и Новака Д. Учёные изучали методы адаптивного управления мощностью передачи и возможности повышения пропускной способности сетей за счёт рационального использования энергетических ресурсов<sup>7</sup>. Их работы показали, что совместное управление мощностью и форматом модуляции позволяет значительно повысить эффективность функционирования сети.

Современные направления развития пассивных оптических сетей представлены в исследованиях Ансари Н., Шена Г. и ряда других авторов. В их работах рассматриваются интеллектуальные методы управления ресурсами сети, основанные на адаптации параметров передачи к текущему состоянию каналов связи<sup>8</sup>. Авторы отмечают, что комплексный подход к распределению полосы пропускания, мощности передачи и выбору формата модуляции обеспечивает высокий уровень производительности сети.

1 Агравал Г. П. Волоконно-оптические системы связи. – М.: Техносфера, 2019. – 518 с.

2 Рамасвами Р., Сиварджан К. Н. Оптические сети: практический подход. – М.: Вильямс, 2018. – 912 с.

3 Крамер Г., Мукерджи Б., Пешао Дж. Развитие пассивных оптических сетей широкополосного доступа // IEEE Communications Magazine. – 2021. – Т. 40. – № 2. – С. 118–125.

4 МакГарри М., Рейслайн М., Маер М. Алгоритмы динамического распределения полосы пропускания в EPON-сетях // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2020. – Т. 10. – № 2. – С. 46–60.

5 Винцер П. Дж. Высокоскоростные оптические сети передачи данных // Journal of Lightwave Technology. – 2022. – Т. 30. – № 4. – С. 382–393.

6 Десюрвир Э. Усилители на волокне, легированном эрбием: принципы и применение. – М.: Техносфера, 2019. – 368 с.

7 Томкос И., Шен Г., Таккара М. Оптические сети нового поколения: технологии и перспективы развития // IEEE Network. – 2021. – Т. 25. – № 5. – С. 6–12.

8 Ансари Н., Чжан Х. Управление ресурсами в пассивных оптических сетях доступа // IEEE Communications Magazine. – 2022. – Т. 51. – № 2. – С. 144–150.



## МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Математическая постановка задачи

Суммарная пропускная способность сети определяется выражением:

$$C_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^N C_{i\text{max}}$$

где  $(C_i)$  — пропускная способность  $i$ -го канала связи,  $(N)$  — количество активных каналов.

Пропускная способность отдельного канала рассчитывается согласно теореме Шеннона [10]:

$$C = B_i \log_2(1 + \text{SNR}_i)$$

где  $(B_i)$  — полоса пропускания канала;  $(\text{SNR}_i)$  — отношение сигнал/шум.

Вектор оптимизируемых параметров представлен в виде [11–13]:

$$X = \{P_i, B_i, M_i, r_i\}$$

где  $(P_i)$  — мощность передатчика,  $(B_i)$  — выделенная полоса пропускания,  $(M_i)$  — формат модуляции,  $(r_i)$  — маршрут передачи данных.

### Ограничения задачи

Оптимизация осуществляется при соблюдении следующих ограничений:

$$\sum_{i=1}^N P_i \leq P_{\text{max}},$$

$$BER_i < BER_{\text{доп}},$$

$$B_i < B_{\text{доп}},$$

$$OSNR_i \geq OSNR_{\text{мин}}$$

### Алгоритм оптимизации

Предлагаемый алгоритм включает следующие этапы:

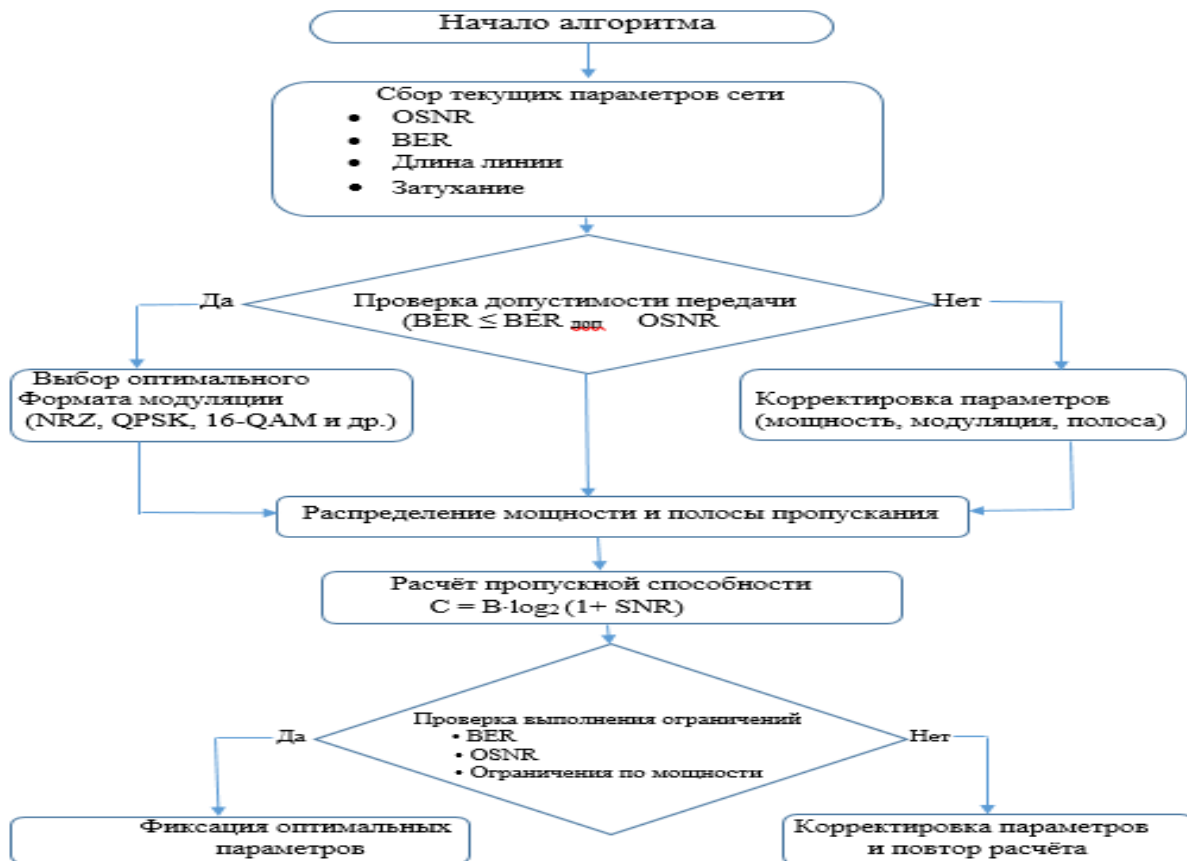


Рисунок 1. Структурная схема алгоритма оптимизации пропускной способности<sup>9</sup>

1. Сбор параметров сети (OSNR, BER, длина линии, затухание).
2. Расчёт энергетического бюджета канала.

3. Оценка качества каналов ONU.
  4. Выбор оптимального формата модуляции.
  5. Динамическое распределение ресурсов (DBA).
  6. Расчёт пропускной способности.
  7. Контроль ограничений.
  8. Корректировка параметров и повторный цикл оптимизации.
- Выбор формата модуляции осуществляется по значениям OSNR [14–16]:

- QPSK при (OSNR < 12) дБ;
- 16-QAM при (12 ≤ OSNR < 18) дБ;
- 64-QAM при (OSNR ≥ 18) дБ.

**Особенности адаптации алгоритма к PON**

При оптимизации пропускной способности в пассивных оптических сетях необходимо учитывать: пассивное разветвление мощности в Y-разветвителях (1:N); неоднородность длин абонентских линий; суммарные потери в оптическом тракте; совместную передачу downstream и upstream;

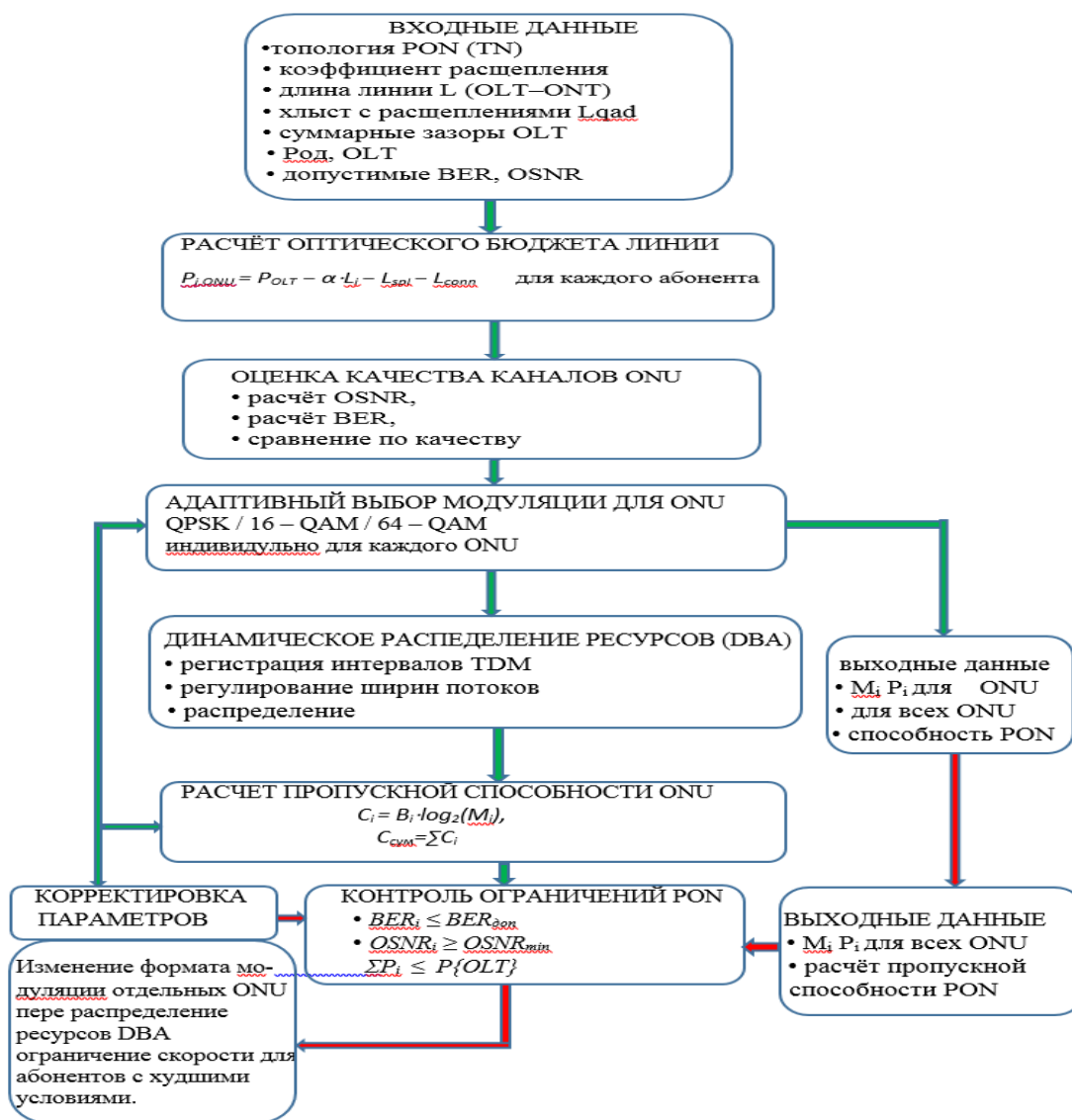


Рисунок 2 Структурная схема алгоритма (PON)<sup>10</sup>



Разработанный алгоритм предназначен для **повышения суммарной пропускной способности пассивной оптической сети (PON)** за счёт адаптивного управления модуляцией и распределением ресурсов с учётом индивидуальных характеристик каналов абонентов (ONU)<sup>11</sup>.

## АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате применения разработанного алгоритма для каждого ONU определяется оптимальный формат модуляции и объём выделяемых ресурсов.

Пропускная способность отдельного канала рассчитывается по формуле:

$$C_i = B_i \log_2 M_i$$

Для канала с полосой пропускания 50 ГГц и модуляцией 16-QAM:

$$C = 50 \cdot 10^9 \cdot 4 = 2 \cdot 10^{11} \text{ бит/с} = 200 \text{ Гбит/с.}$$

При использовании восьми каналов суммарная пропускная способность сети составляет:

$$C_{\text{сум}} = 1,6 \text{ Тбит/с.}$$

Разработанный алгоритм обеспечивает адаптивное управление ресурсами сети и поддерживает требуемые показатели качества передачи даже при неравномерном распределении длин абонентских линий.

Предложенный алгоритм реализует замкнутый контур адаптивного управления пропускной способностью PON-сети. В отличие от статических схем распределения ресурсов, разработанный подход учитывает текущее состояние каждого канала и позволяет динамически изменять параметры передачи.

Основным преимуществом алгоритма является возможность индивидуального выбора модуляции для каждого ONU, что обеспечивает более эффективное использование спектрального ресурса и энергетического бюджета сети. Дополнительное применение механизма Dynamic Bandwidth Allocation позволяет гибко перераспределять ресурсы между абонентами в зависимости от нагрузки и качества каналов.

Полученные результаты показывают, что применение адаптивного управления модуляцией и ресурсами позволяет существенно повысить суммарную пропускную способность разветвлённых оптических сетей при сохранении требований по BER, OSNR и QoS [14–20].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Разработан алгоритм оптимизации пропускной способности пассивной оптической сети, основанный на адаптивном выборе форматов модуляции и динамическом распределении ресурсов. Выполнена математическая постановка задачи оптимизации с учётом ограничений по мощности передачи, BER и OSNR. Проведённые расчёты показали возможность достижения суммарной пропускной способности до 1,6 Тбит/с при использовании восьми каналов с полосой 50 ГГц. Предложенный алгоритм может быть использован при проектировании и модернизации современных PON-сетей для повышения эффективности использования сетевых ресурсов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агравал Г. П. Волоконно-оптические системы связи. – М.: Техносфера, 2019. – 518 с.
2. Агравал Г. П. Нелинейная волоконная оптика. – М.: Техносфера, 2020. – 784 с.
3. Рамасвами Р., Сиварджан К. Н. Оптические сети: практический подход. – М.: Вильямс, 2018. – 912 с.
4. Крамер Г., Мукерджи Б., Пешао Дж. Развитие пассивных оптических сетей широкополосного доступа // IEEE Communications Magazine. – 2021. – Т. 40. – № 2. – С. 118–125.
5. МакГарри М., Рейслайн М., Маер М. Алгоритмы динамического распределения полосы пропускания в EPON-сетях // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2020. – Т. 10. – № 2. – С. 46–60.
6. Винцер П. Дж. Высокоскоростные оптические сети передачи данных // Journal of Lightwave Technology. – 2022. – Т. 30. – № 4. – С. 382–393.
7. Десюрвир Э. Усилители на волокне, легированном эрбием: принципы и применение. – М.: Техносфера, 2019. – 368 с.
8. Томкос И., Шен Г., Таккара М. Оптические сети нового поколения: технологии и перспективы развития // IEEE Network. – 2021. – Т. 25. – № 5. – С. 6–12.
9. Ансари Н., Чжан Х. Управление ресурсами в пассивных оптических сетях доступа // IEEE Communications Magazine. – 2022. – Т. 51. – № 2. – С. 144–150.
10. Новак Д., Уотерхаус Р. Современные технологии когерентной оптической связи. – Лондон: Academic Press, 2020. – 427 с.
11. ITU-T G.984. Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General Characteristics. – Geneva: International Telecommunication Union, 2023.

11 Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper. – San Jose: Cisco Systems, 2023.

# **muhandislik**

# **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,  
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

**Ingliz tili muharriri:** Feruz Hakimov

**Musahhih:** Zokir Alibekov

**Sahifalovchi va dizayner:** Abdurahmon Qurbonov

---

## 2026. № 6

---

© Materiallar ko'chirib bosilganda "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali manba sifatida ko'rsatilishi shart. Jurnalda bosilgan material va reklamalardagi dalillarning aniqligiga mualliflar ma'sul. Tahririyat fikri har vaqt ham mualliflar fikriga mos kelmasligi mumkin. Tahririyatga yuborilgan materiallar qaytarilmaydi.

"Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali 26.06.2023-yildan  
O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Adminstratsiyasi huzuridagi  
Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan  
№S-5669245 reyestr raqami tartibi bo'yicha ro'yxatdan o'tkazilgan.  
**Litsenziya raqami: №095310.**

**Manzilimiz: Toshkent shahri Yunusobod  
tumani 15-mavze 19-uy**





+998 93 718 40 07



<https://muhandislik-iqtisodiyot.uz/index.php/journal>



[t.me/yait\\_2100](https://t.me/yait_2100)