

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 3, 2026 vol. 3

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164



RESEARCH, INNOVATION, RESULTS



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state
transport university



JOURNAL OF TRANSPORT

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164

VOLUME 3, ISSUE 3

SEPTEMBER, 2026



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 3, ISSUE 3 SEPTEMBER, 2026

EDITOR-IN-CHIEF

SAID S. SHAUMAROV

Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University

Deputy Chief Editor

Miraziz M. Talipov

Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University

The “**Journal of Transport**” established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo‘lchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at jot@tstu.uz.

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organization
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

An improved method for increasing the capacity of branched optical communication networks based on transfer to a single-fiber mode

R.R. Kiyamov¹ ^a

¹Kasbi District Technicum No. 5, Kashkadarya, Uzbekistan

Abstract: This article examines the shortage of available optical fibers in existing fiber-optic transmission lines. It analyzes current methods for increasing the capacity of branched optical communication networks, including WDM, OFDM, SDM, coherent reception, and digital signal processing technologies. An improved method for increasing capacity by converting existing dual-fiber transmission systems to single-fiber operation using optical Y-splitters is proposed. A model for estimating the energy balance and signal-to-noise ratio, taking into account additional losses and noise, is developed. The obtained results demonstrate the possibility of effectively increasing network capacity without constructing new fiber-optic lines or implementing expensive wavelength-division multiplexing technologies.

Keywords: fiber-optic communication lines, PON, capacity, Y-splitter, single-fiber transmission, signal-to-noise ratio, BER

Совершенствованный метод повышения пропускной способности в разветвлённых оптических сетях связи на основе перевода в одноволоконный режим

Киямов Р.Р.¹ ^a

¹Техникум № 5 Касбинского района, Кашкадаря, Узбекистан

Аннотация: В статье рассматривается проблема дефицита свободных оптических волокон в существующих волоконно-оптических линиях передачи. Проведён анализ современных методов повышения пропускной способности разветвлённых оптических сетей связи, включая технологии WDM, OFDM, SDM, когерентного приёма и цифровой обработки сигналов. Предложен усовершенствованный метод повышения пропускной способности путём перевода действующих двухволоконных систем передачи в одноволоконный режим с использованием оптических Y-разветвителей. Разработана модель оценки энергетического баланса и отношения сигнал/шум с учётом дополнительных потерь и шумов. Полученные результаты показывают возможность эффективного увеличения пропускной способности сети без строительства новых волоконно-оптических линий и внедрения дорогостоящих технологий спектрального уплотнения.

Ключевые слова: волоконно-оптические линии связи, PON, пропускная способность, Y-разветвитель, одноволоконная передача, отношение сигнал/шум, BER

1. Введение

Рост объёмов передаваемого трафика и увеличение числа абонентов предъявляют новые требования к пропускной способности волоконно-оптических сетей связи [1–3]. Особенно остро данная проблема проявляется в сетях доступа и разветвлённых оптических сетях (PON), где существующая инфраструктура была построена для существенно меньших нагрузок [4–7].

Традиционные методы увеличения пропускной способности основаны на использовании технологий WDM/DWDM, OFDM, когерентного приёма и пространственного мультиплексирования [8–16].

Несмотря на высокую эффективность, их внедрение сопровождается значительными капитальными затратами и усложнением оборудования [11–16].

В связи с этим актуальной задачей является разработка методов повышения пропускной способности существующих сетей без прокладки дополнительных оптических волокон и без существенной модернизации аппаратной части.

Целью исследования является разработка усовершенствованного метода повышения пропускной способности разветвлённых оптических сетей связи на основе перевода существующих двухволоконных систем передачи в одноволоконный режим с применением оптических Y-разветвителей.

^a <https://orcid.org/0009-0008-7510-875X>



2. Методика исследования

Исходные предположения

Исследование выполнено для одномодового оптического волокна стандарта G.652 при длине волны 1310 нм [4].

Приняты следующие параметры:

мощность передатчика $P_{tx} = 0$ дБм;
коэффициент деления Y-разветвителя 1:2;
дополнительные потери разветвителя 3,5–4 дБ;
переходное затухание 50–55 дБ.

Энергетическая модель

Энергетический баланс линии определяется выражением

$$P_{tx} - (P_{fiber} + P_{splitter} + P_Y) \geq P_{rx, \min} \quad (1)$$

где:

P_{tx} — мощность передатчика;
 P_{fiber} — потери в волокне;
 $P_{splitter}$ — потери сплиттеров;
 P_Y — дополнительные потери Y-разветвителей;
 $P_{rx, \min}$ — чувствительность приёмника.

Модель шумов

Общая мощность шумов:

$$N_{tot} = N_{th} + N_{sh} + N_{cross} + N_{Fr} + N_{Ray} \quad (2)$$

где:

N_{th} — тепловой шум фотоприёмника;
 N_{sh} — дробовой (shot) шум фототока;
 N_{cross} — переходные помехи Y-разветвителя;
 N_{Fr} — шумы, обусловленные френелевскими отражениями;

N_{Ray} — шумы обратного рэлеевского рассеяния.

Тогда отдельные составляющие могут быть представлены следующим образом:

1. Переходные помехи Y-разветвителя

$$N_{cross} = P_s \cdot K_{cross} \quad (3)$$

где P_s — мощность полезного сигнала,

K_{cross} — коэффициент переходных помех разветвителя.

2. Шумы Френелевских отражений

$$N_{Fr} = P_s \cdot RF \cdot e^{-2\alpha L} \quad (4)$$

где:

RF — коэффициент френелевского отражения;
 α — коэффициент затухания волокна, Нп/км;
 L — длина линии, км.

Для границы стекло-воздух:

$$RF = [(n_1 - n_2) / (n_1 + n_2)]^2 \quad (5)$$

где n_1 и n_2 — показатели преломления сред.

3. Шумы обратного рэлеевского рассеяния

$$N_{Ray} = P_s \cdot \eta_{Ray} (1 - e^{-2\alpha L}) \quad (6)$$

где η_{Ray} — коэффициент обратного рэлеевского рассеяния.

4. Тепловой шум

$$N_{th} = 4kTB \quad (7)$$

где:

$k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана;
 T — абсолютная температура;
 B — полоса приёма.

5. Дробовой шум

$$N_{sh} = 2qI_p B \quad (8)$$

где:

$q = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл — заряд электрона;
 I_p — фототок;
 B — полоса пропускания.

Отношение сигнал/шум определяется как

$$SNR = \frac{P_s}{N_{tot}} \quad (9)$$

или в децибелах

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_s}{N_{tot}} \quad (10)$$

$$N_{tot} = N_{th} + N_{sh} + N_{cross} + N_{Fr} + N_{Ray} \quad (11)$$

В одноволоконном режиме учитываются следующие шумовые составляющие:

$$N_{tot} = N_{own} + N_{cross} + N_{Fr} + N_{Ray} \quad (12)$$

где:

N_{own} — собственные шумы системы;
 N_{cross} — переходные помехи Y-разветвителя;
 N_{Fr} — шумы Френелевских отражений;
 N_{Ray} — шумы обратного рэлеевского рассеяния.

Качество передачи данных оценивается по отношению сигнал/шум, которое для j-го абонента определяется как

$$SNR_j = \frac{P_{r,j}}{N_{0B}} \quad (13)$$

где N_0 — спектральная плотность шумов приёмника, B — полоса пропускания

Алгоритм оценки возможности перехода в одноволоконный режим

Определение параметров существующей ВОЛП.

Расчёт дополнительных потерь Y-разветвителей.

Определение уровня шумов.

Расчёт отношения сигнал/шум.

Оценка коэффициента битовых ошибок BER.

Проверка выполнения требований качества передачи. Принятие решения о переводе линии в одноволоконный режим.

Проведён сравнительный анализ существующих методов повышения пропускной способности [8–16].

Таблица 1

Сравнительный анализ повышения пропускной способности и основных недостатков различных методов передачи

Метод	Рост пропускной	Основные недостатки
WDM/DWDM	Высокий	Нелинейности, высокая
OFDM	Высокий	Сложность DSP
Coherent	Очень высокий	Технологическая сложность
SDM	Очень высокий	Технологическая сложность
Предлагаемый метод	Средний–высокий	Дополнительные потери 3–4 дБ

Результаты расчётов показывают, что снижение энергетического запаса вследствие использования Y-разветвителей компенсируется:

повышенной чувствительностью современных приёмников;

использованием FEC-кодирования;
оптимизацией коэффициента разветвления;
сокращением количества соединений.

Установлено, что перевод существующих



двухволоконных систем передачи в одноволоконный режим позволяет эффективно использовать резервные ресурсы сети и увеличить суммарную пропускную способность без строительства новых линий связи.

Получено, что применение Y-разветвителей приводит к: дополнительным потерям мощности сигнала;

- появлению переходных шумов;
- возникновению шумов Френелевских отражений;
- появлению шумов обратного Рэлеевского рассеяния;
- снижению отношения сигнал/шум SNR.

При этом расчётная модель позволяет определить предельную длину регенерационного участка, при которой сохраняется нормативное значение BER.

Моделирование показало, что после 10–12 км влияние Рэлеевского рассеяния практически насыщается и мало зависит от скорости передачи.

Установлено, что перевод ОСП в одноволоконный режим позволяет увеличить суммарную пропускную способность ВОЛП примерно в 1,8–2 раза за счёт высвобождения волокон для организации новых каналов связи и сетей ШПД.

Практическое внедрение в сетях ООО UMS позволило повысить пропускную способность информационных потоков в 1,3 раза, а в сети АК «Узбектелеком» — в 1,24 раза [20].

Результаты моделирования показали, что применение Y-разветвителей сопровождается снижением отношения сигнал/шум вследствие дополнительных потерь мощности и появления дополнительных шумовых составляющих. Однако даже при длине ЭКУ до 12 км обеспечивается сохранение допустимого уровня BER и стабильность передачи цифрового потока.

Сравнительный анализ показал, что предложенный метод обеспечивает увеличение пропускной способности сети до 1,8–2 раз при минимальных капитальных затратах по сравнению со строительством новой ВОЛП или внедрением технологии WDM. Особенно высокая эффективность достигается в сельских и региональных сетях связи при дефиците свободных оптических волокон.

В отличие от технологий DWDM, OFDM и когерентного приёма предлагаемый метод не требует существенной модернизации оборудования и может быть внедрён на существующей инфраструктуре [1–3, 8–16].

Основным ограничивающим фактором является ухудшение энергетического баланса вследствие дополнительных потерь в Y-разветвителях. Однако проведённый анализ показывает, что при правильном выборе параметров сети данные потери не приводят к критическому ухудшению качества передачи информации.

Экономическая эффективность предлагаемого решения особенно заметна для сельских и удалённых районов, где строительство новых ВОЛП связано со значительными капитальными затратами.

Таблица 2

Исходные параметры моделирования	
Параметр	Значение
Дополнительные потери Y-разветвителя	3,5–4 дБ

Суммарные дополнительные потери	до 8 дБ
Переходное затухание	50–55 дБ
Коэффициент обратного отражения RL	–30...–60 дБ
Скорость передачи	155–2488 Мбит/с
Исследуемая среда	Одномодовое волокно G.652

Таблица 3

Алгоритм моделирования разветвлённой сети

Этап	Содержание
1	Задание топологии сети
2	Ввод параметров волокна и оборудования
3	Расчёт энергетического баланса двухволоконного режима
4	Определение дополнительных потерь и шумов
5	Расчёт SNR ₁ и SNR ₂
6	Определение эквивалентного увеличения затухания
7	Расчёт допустимой длины ЭКУ
8	Анализ возможности перевода в одноволоконный режим

На рисунок 1 приведена структурная схема алгоритма моделирования разветвлённой сети



Рис. 1. Структурная схема алгоритма моделирования разветвлённой сети



Таблица 4

Сравнительный анализ методов повышения пропускной способности ВОЛП

Критерий	Новая ВОЛП	Повышение скорости	Одноволочный режим	Одноволочный режим с Y-разветвителями
Использование существующей инфраструктуры	Нет	Частично	Да	Полностью
CAPEX	Очень высокий	Высокий	Средний	Минимальный
OPEX	Высокий	Средний	Средний	Низкий
Сложность внедрения	Высокая	Высокая	Средняя	Низкая
Применимость в сельских сетях	Низкая	Низкая	Ограниченная	Высокая
Высвобождение волокон	Нет	Нет	Нет	Да

Таблица 5

Техническое сравнение методов
Таблица данных зависимости отношения сигнал/шум от длины ЭКУ

Показатель	Двухволочный режим	Одноволочный режим с Y-разветвителями	Новая ВОЛП	WDM
Использование волокон	2	1	≥ 2	1
SNR	Максимальный	Снижается на ΔSNR	Максимальный	Высокий
BER	В норме	В норме при допустимой длине	В норме	В норме
Замена оборудования	Нет	Нет	Да	Да
Капитальные затраты	Отсутствуют	Низкие	Очень высокие	Высокие

Таблица 6

Таблица данных зависимости отношения сигнал/шум от длины ЭКУ

Длина ЭКУ, км	Двухволочный режим, дБ	Одноволочный режим с Y-разветвителями, дБ
2	31	27
4	29	25
6	27	23
8	25	21
10	23	19
12	21	17
14	19	15
16	17	13

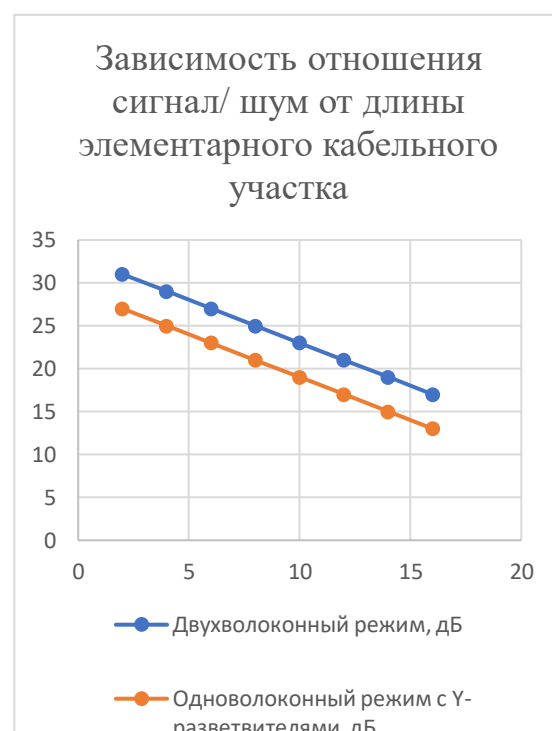


Рис. 2. Зависимость SNR от длины ЭКУ

Таблица 7

Таблица данных зависимости BER от длины ЭКУ

Длина ЭКУ, км	BER (двухволочный)	BER (одноволочный)
2	1×10^{-12}	3×10^{-12}
4	2×10^{-12}	6×10^{-12}
6	4×10^{-12}	1×10^{-11}
8	8×10^{-12}	4×10^{-11}
10	2×10^{-11}	8×10^{-11}
12	5×10^{-11}	1×10^{-10}
14	1×10^{-10}	3×10^{-10}
16	3×10^{-10}	8×10^{-10}



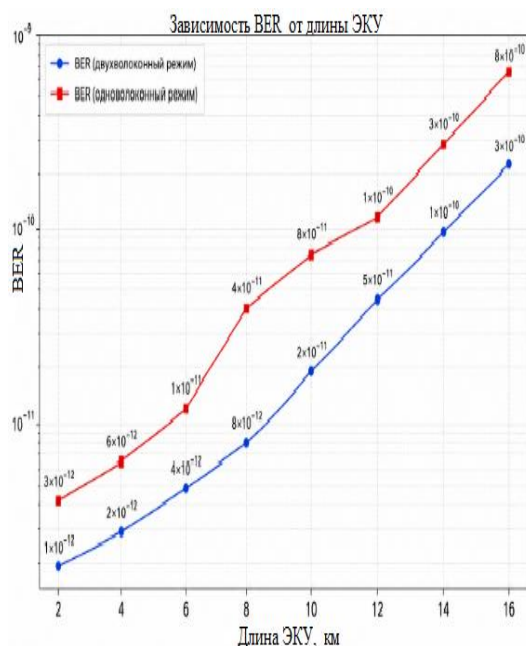


Рис. 3. Зависимость BER от длины ЭКУ

На рисунке показан зависимость вероятности битовой ошибки BER от длины ЭКУ для различных режимов передачи.

Таблица данных вероятности битовой ошибки BER от длины ЭКУ для различных режимов передачи.

Таблица 8
Значения вероятности битовой ошибки (BER) при различной длине ЭКУ для разных режимов передачи

Метод	Относительный CAPEX, %
Использование существующей	5
Одноволоконный режим с Y-	10
Повышение скорости передачи	45
WDM	65
Строительство новой ВОЛП	100



Рис. 4. Сравнение CAPEX различных методов

На рисунке 4 показана сравнительная оценка капитальных затрат методов повышения пропускной способности ВОЛП.

Таблица 9

Таблица данных

Метод	Коэффициент увеличения пропускной способности
Базовая сеть	1,0
Повышение скорости передачи	1,3
WDM	1,6
Одноволоконный режим с Y-разветвителями	1,8
Комбинированный режим (Y + WDM)	2,2



Рис. 5. Повышение пропускной способности различных методов

3. Заключение

Разработан усовершенствованный метод повышения пропускной способности в разветвлённых оптических сетях связи на основе перевода существующих двухволоконных систем передачи в одноволоконный режим с использованием оптических Y-разветвителей.

Разработаны математическая модель энергетического баланса и алгоритм оценки возможности модернизации существующих линий связи.

Таким образом совершенствован метод повышения пропускной способности с использованием Y-разветвителей в разветвленных оптических сетях связи на основе определение специфических особенностей и применение Y-разветвителей.

Совершенствована устройства повышения пропускной способности волоконно оптических сетей связи и обеспечена возможность перевода с двухволоконного режима на одноволоконный режим работы региональных оптических сетей связи.

Разработан метод определения возможности применения устройств повышения пропускной способности региональных волоконно-оптических сетей связи, в результате чего были определены



регенерационные участки где можно применить устройств повышения пропускной способности.

Повышен пропускной способностью выделенного оптического волокна с применением Y-разветвителей и переведен с двухволоконного режима работы на одноволоконный режим в результате чего достигнут к появлению дополнительного оптического волокна.

В чем и заключается научная новизна исследований

Результаты исследования показывают возможность повышения эффективности использования волоконно-оптической инфраструктуры без строительства новых линий и без применения дорогостоящих технологий спектрального уплотнения.

Предложенный метод может быть использован при модернизации сетей доступа PON и региональных волоконно-оптических сетей связи.

Использованная литература / References

- [1] Agrawal G.P. Fiber-Optic Communication Systems. Wiley.
- [2] Keiser G. Optical Fiber Communications.
- [3] Senior J.M., Jamro M.Y. Optical Fiber Communications.
- [4] ITU-T G.652.
- [5] ITU-T G.984.
- [6] ITU-T G.9807.1.
- [7] ITU-T G.989.
- [8] Mukherjee B. Optical WDM Networks.
- [9] Saleh B., Teich M. Fundamentals of Photonics.

[10] Kazovsky L. Optical Fiber Communication Systems.

[11] Winzer P.J. Scaling Optical Networks.

[12] Essiambre R.J. Capacity Limits of Optical Fiber Networks.

[13] Cartledge J. Digital Signal Processing for Optical Communications.

[14] Kaminow I. Optical Fiber Telecommunications.

[15] Ellis A.D. Optical Capacity Limits.

[16] Cisco Annual Internet Report.

[17] FTTH Council Global Report.

[18] Ким А.А., Кузьмин В.В. Волоконно-оптические линии связи.

[19] Агравал Г. Волоконно-оптическая связь. Принципы и практика.

[20] Киямов Р.Р. Совершенствование метода повышения пропускной способности в разветвлённых оптических сетях связи.

Информация об авторах/ Information about the authors

Киямов	Касбинский техникум №5,
Рахматулло /	E-mail:
Rakhmatullo	raxmatullo.kiyamov@mail.ru
Kiyamov	Tel.: +998907200534
	https://orcid.org/0009-0008-7510-875X



M. Talipov, E. Ergashev

A comprehensive approach to assessing and reducing neuropsychic burden in the work activity of driver examination center employees.....5

Z. Jalolova, N. Abdullaev

Assessment of public transport safety and the technical parameters of lifting and handling equipment.....11

S. Salikhanov, D. Ravshanova

The influence of environmental factors on the performance of reinforced concrete bridge structures.....15

Z. Jalolova, Kh. Vahobov

An analysis of theoretical approaches to ensuring road traffic safety20

KH. Tuychiev, KH. Tuychiev

Development of a technology for producing coarse-grained tungsten carbide powders.....25

J. Gulyamov, H. Toshmamatov

Optimization of energy efficiency in irrigation pumping stations: Mathematical modeling using Bellman and Pontryagin approaches.....29

R. Kiyamov

An improved method for increasing the capacity of branched optical communication networks based on transfer to a single-fiber mode.....35

A. Muratov

Criteria for evaluating the efficiency of freight transportation by road transport and approaches to their optimization.....41

D. Mirzajonov, E. Shchipacheva

Architectural and planning organization of a multifunctional residential complex for sustainable urban planning: using the example of Namangan city.....45

A. Komilov, A. Kuziev

Mathematical modeling of the urban public transport system in Termiz city based on passenger flows and simulation-based timetable improvement.....50