

Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

---

№ 4 (2023)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и  
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

---

<https://doi.org/10.48081/SMUR2431>

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.  
*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*  
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*  
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*  
Новожилов Т. А., *д.т.н., профессор*  
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*  
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*  
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*  
Нефтисов А. В., *доктор PhD*  
Омарова А.Р., *технический редактор*

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов  
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/AKQZ7832>

**\*А. С. Звонцов<sup>1</sup>, А. П. Кислов<sup>2</sup>, Л. Н. Кириченко<sup>3</sup>,  
У. К. Жалмагамбетова<sup>4</sup>, О. А. Андреева<sup>5</sup>**

<sup>1,2,4</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

<sup>3</sup>Казахский агротехнический исследовательский университет имени  
С. Сейфуллина, Астана қ.

e-mail: [trigal@mail.ru](mailto:trigal@mail.ru)

## **МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ОПТИЧЕСКИХ СВЕТОВОДАХ**

*В статье рассмотрены физические основы волновой и геометрической оптики, используемые в метрологическом обеспечении оптических световодов и оптической связи.*

*Показаны зависимости одного из главного параметра систем передачи информации – скорости – от физического строения стекловолокна.*

*Ввиду неоднородного показателя преломления оптического тракта групповой световой сигнал движется с различной скоростью, что приводит к увеличению длительности импульса, лежащего в основе изучения дисперсионных явлений.*

*Определено, что световой импульс состоит из ряда лучей, которые распространяются не только вдоль оси волокна, но и под некоторым угловым наклоном.*

*Представлены полные расчеты, показывающие искажение и затухание оптических сигналов*

*Определен принцип действия оптического рефлектометра и дан анализ мощности оптического излучения, показывающий потери оптического соединения на границе раздела различных видов производителей оптоволокон.*

*Проанализированы импульсы прохождения и отражения сигнала при распространении в прямом и обратном направлениях.*

*Даны передаточные характеристики, показывающие принцип двулучепреломляемости светового луча, и появляющиеся в результате данного процесса луч проходящий и луч отраженный.*

*Имеющиеся показатели показывают различие в характере отражения на границе раздела с плоскими и закругленными краями контактов световодов.*

*Ключевые слова: явление двулучепреломляемости, коэффициент широкополосности, световая апертура, показатель профиля преломления, оптический волновод, монохромное излучение, световой импульс.*

## **Введение**

Предельный объем информации, которую можно передать по волокну единичной длины, определяется его полосой пропускания. Для оценки данного параметра оценивают обратную величину – дисперсию, связанную с временными задержками сигнала на входе и выходе волновода.

В дальнейшем будет показано, что с увеличением эффективной длины многолетнего тракта хроматическая дисперсия на участке будет возрастать, а полоса пропускания – уменьшаться.

Увеличение величины хроматической дисперсии говорит о задержке между передающими и принимаемыми импульсами. Учитывая, что она носит нежелательный характер, в технике передачи предусмотрены методы уменьшения ее влияния через материальную и волноводную дисперсии.

В первом случае необходимо использовать волокна с градиентным показателем преломления.

Во втором случае будет рассмотрена апертура светового луча, явление двулучепреломляемости способы уменьшения отраженного сигнала для уменьшения интерференции на лазерный источник излучения.

## **Материалы и методы**

Метрология обнаружения разъемных механических соединителей и оценка потерь на границе раздела двух сред.

Одно из главных свойств геометрической оптики, нашедшей применение в оптических волноводах – отражение света и вследствие этого, ввод термина «коэффициент отражения» по отношению к проходящему лучу от участков волокна вблизи воздушного зазора на границе перехода.

При условии входа светового импульса под определенным углом в оптически более плотную среду (мы рассматриваем полимерное стекло) из оптически менее плотной (воздушная среда) его направление распространения по отношению к оси волновода изменяется ввиду наличия кварцевой сердцевины с показателем преломления и ее окружающей оболочки с коэффициентом преломления .

На этом процессе основано явление полного внутреннего отражения

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

Для волоконно-оптических линий связи критический угол  $\alpha_0 \approx 42^\circ$ .

Выделим 3 возможных хода геометрии светового луча.

Если угол между лучом и нормалью является критическим, то вводимый луч будет распространяться вдоль границы «сердцевина-оболочка».

При условии  $\alpha_0 > 42^\circ$  луч будет проходить в оболочке волновода.

Соблюдая параметр  $\alpha_0 < 42^\circ$  свет будет проходить вдоль сердцевины путем многократного отражения.

Данное отношение необходимо при проектировании ввода оптического лазерного диода в канал передачи данных.

В системах лазерной связи учитывается данный угол  $\alpha_0$ , близкий к критическому, который при проходе через торцы волноводов будет неоднократно отражаться, и ввиду дисперсии волнового импульса, с разной групповой скоростью распространения моды.

Если граница раздела двух сред намного меньше рабочей длины волны  $\Delta \ll \lambda$  мощность прохождения имеет вид

$$P_{\text{пр}} = \frac{4 \cdot n_1^2 \cdot n^2}{4 \cdot n_1^2 \cdot n^2 + (n_1^2 - n^2)^2 \cdot \sin^2(2\pi n \Delta / \lambda)} \quad (2)$$

где  $n_1$  – показатель преломления используемого оптоволокна;

$n$  – показатель преломления воздуха;

$\Delta$  – граница раздела двух сред, нм;

$\lambda$  – граница раздела двух сред, нм;

$$P_{\text{отр}} = \frac{(n_1^2 - n^2)^2 \cdot \sin^2(2\pi n \Delta / \lambda)}{4 \cdot n_1^2 \cdot n^2 + (n_1^2 - n^2)^2 \cdot \sin^2(2\pi n \Delta / \lambda)} \quad (3)$$

Коэффициент отражения может быть рассчитан соответственно как

Исходя из выражений, требуемая длина волны для коэффициента прохождения может быть найдена как

Для коэффициента отражения соответственно

$$\lambda = \frac{2\pi n \Delta}{\sin^{-1} \sqrt{\frac{4 \cdot n_1^2 \cdot n^2 - P_{\text{пр}} \cdot 4 \cdot n_1^2 \cdot n^2}{P_{\text{пр}} (n_1^2 - n^2)^2}}} \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{2\pi n \Delta}{\sin^{-1} \sqrt{\frac{P_{\text{отр}} \cdot 4 \cdot n_1^2 \cdot n^2}{(1 - P_{\text{отр}}) \cdot (n_1^2 - n^2)^2}}}$$

При переходе стекло-воздух из показателя преломления  $n_1 = 1.5$  в  $n = 1$  при расстоянии границы раздела двух сред  $\Delta$  в 800 нм и использовании рабочей длина волны лазерного излучения  $\lambda$  в 1300 нм получим значения показателя по формуле (1) коэффициента прохождения  $P_{\text{пр}} = 0,92$  и коэффициента отражения 0,079 соответственно.

В таблице 1 даны практические значения физических показателей используемых конструкций соединения.

Таблица 1 – Параметры физического тракта и оптимальная длина волны при наличии физического соединителя

Границы раздела двух сред $\Delta$ , нм	Рабочая длина волны $\lambda$ , нм	Коэффициент прохождения
800	1300	0,92
78	1300	0,97
50	1300	0,9901
50	1550	0,99301

Анализируя формулы (2) и (3) можно сделать вывод что расстояние между волноводами должно быть намного меньше длины источника излучения для достижения практически безвозвратного хода луча

Например, если 100 мкВт энергии достигает конца волокна, то около 8 мкВт отражается назад к источнику, что соответствует плоским торцам на границах раздела

Потери световой энергии, распространяющейся в прямом направлении могут быть определены логарифмическим соотношением

$$\rho_{\text{пр}} = -10 \lg P_{\text{пр}} \quad (5)$$

Данная величина по умолчанию равна 0,35 дБ, что соответствует рекомендациям стандарта G.651 и потерям в большинстве современных конструкций соединителей и соответствует коэффициенту прохождения  $P_{пр} = 0.92$  согласно (2) и при увеличении проходящей мощности потери для одного разъема уменьшаются.

В таблице 2 показаны потери в разъемных соединителях для муфтового соединения.

Таблица 2 – Потери в разъемных соединителях для муфтового соединения

Уровень качества	Потери для одного разъема, П, дБ
1	0,75
2	0,4
3	0,2
4	0,1

Обратные отраженные потери, распространяющиеся в противоположном направлении к основному, определяют как

$$\rho_{пр} = 10 \lg P_{отпр} \quad (6)$$

Для значения в 8 мкВт значение  $\rho_{пр}$  составляет -11 дБ, показывающая, что отраженная мощность меньше падающей на 11 дБ.

Результаты и обсуждение

Обнаружение разъемных соединителей, равно как и измерение оптических возвратных потерь и обратного отражения на участке регенерации возможно с помощью рефлектометра.

Еще одним важнейшим оптическим параметром является величина обратного отражения  $RL_{об}$ , измеряемая в децибеллах с помощью оптического рефлектометра, которая особенно велика в случае, если торцы волокон в разъемном соединении разделены воздушным зазором.

На сетях связи общего пользования выделяют следующие уровни качества обратного отражения в оптических соединителях, показатели которых приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициенты обратного отражения разъемных оптических соединителей до уровня суперполярировки FC, SC и LC типов

Уровень качества	$RL_{об}$ , дБ
1	-20
2	-30

3	-32
4	-35

В логарифмическом масштабе обратные потери, оценивающие интенсивность отраженного луча, идущего навстречу основному определяют по соответствующему отношению  $RL_{об} = 10 \lg P_{отр}$ . Учитывая показатели формулы (5), в нашем случае  $RL_{об} = 10 \lg 0.079$

Используя уровень качества сигнала 2, получим  $10 \lg P_{отр} = -30$ , что соответствует коэффициенту отражения 0,001 или 0,1% соответственно.

Таким образом полировка торцов на границах и стыках стекловолокон позволяет значительно снизить (менее 0,1 %) коэффициент отражения мощности поступающего информационного сигнала.

Для различных комплектаций муфтовых соединителей нормированы допуски отражения сигнала, представленные в таблице 4.

Таблица 4 – Предельные величины оптических возвратных потерь и предельные величины обратного отражения

Количество кассет N, ед.	Уровень качества сигнала	Предельные оптические возвратные потери ORL, дБ	Предельные величины обратного отражения RL, дБ
2	1	13,99	17,99
	2	23,99	27,99
	3	25,99	29,99
	4	28,99	32,99
3	1	12,23	16,23
	2	22,23	26,23
	3	24,23	28,23
	4	27,23	31,23
4	1	10,98	14,98
	2	20,98	24,98
	3	22,98	26,98
	4	25,98	29,98
5	1	10,01	14,01
	2	20,01	24,01
	3	22,01	26,01
	4	25,01	29,01
6	1	9,22	13,22
	2	19,22	23,22
	3	21,22	25,22
	4	24,22	28,22

Ввиду того, что электромагнитные волны инфракрасного диапазона способны распространяться в диэлектрической среде, в технике передачи данных широко применяются волоконно-оптические линии связи, где источником распространения электромагнитных волн служит стекловолокно, а источником оптического излучения – лазерные диоды.

Учитывая, что частота световой волны находится как

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (7)$$

Соответственно изменение частоты вызывает изменение длины волны

$$df = -\frac{c}{\lambda^2} d\lambda \quad (8)$$

Учитывая, что в реальной технике передачи информации излучение лазера не является монохроматическим, а передается волновым пакетом – распространением отдельных волн с различными скоростями. Данную скорость называют групповой скоростью.

Существует и определенный групповой показатель преломления физической среды. Для полимерного стекла

$$n_{гр} = n - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \quad (9)$$

Показатель преломления зависит от длины волны света. С помощью модуляции данного волнового пакета возможно передать информацию.

Учитывая нисходящий наклон коэффициента  $\frac{dn}{d\lambda}$ , делаем вывод что групповой показатель преломления для любых применяемых волн больше отдельно взятых показателей сердцевины и оболочки.

Зависимость задержки импульсов может быть представлена в виде коэффициента хроматической дисперсии, пс/км\*нм.

$$D_\lambda = \frac{1}{L} \frac{d\tau(\lambda)}{d\lambda} \quad (10)$$

где

L – длина линии, км;

$\lambda$  – длина волны, нм;

$\tau(\lambda)$  – время длительности хроматической дисперсии, пс

Величина хроматической дисперсии вычисляется исходя из формулы Селмейера, пс/км

$$\tau_{\lambda} = \left| \frac{S_0}{4} \left( \lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right) \right| \quad (11)$$

где  $\lambda_0$  – длина волны нулевой дисперсии, равная 1300 нм для кабеля категории OM4 и 1550 нм для категории OM3 соответственно.

$S_0$  – крутизна характеристики дисперсии на длине волны  $\lambda_0$ ,  
равная  $10^{-5} \frac{пс}{м \cdot кмм}$

$\lambda$  – фактическая длина волны в технике параллельной передачи, равная 850 нм.

Определение параметров предельной эффективной длины многомодового тракта в модульно-кассетном решении имеет следующий вид

$$E = l \cdot A + lL + 2,24 \cdot \frac{f_r}{f_0} - 0,6 + r_{nd} \quad (12)$$

В таблице 5 представлены различные значения дисперсии для предельных длин тракта передачи с учетом характеристик волокон SSF без дополнительных мероприятий по компенсации дисперсии

Таблица 5– Результаты оценки дисперсии и максимальная протяженность трактов

Скорость передачи данных, Гб/с	1	10	40	100	500	1000
Энергетический потенциал оптического сетевого Интерфейса E, дБ	5,85					
Недисперсионный штраф по мощности $r_{nd}$ , дБ	0,98					
Допустимые потери для оптоволокна L, дБ	1,039					
Ожидаемая величина затухания A, дБ/км	3,4					
Эффективная длина многомодового тракта $l$ , м	905	243	71	29,7	5,96	2,98
Полоса пропускания, МГц	2358	8773	30157	72900	358043	714440

Хроматическая дисперсия на участке, $\tau$ , псек/км	72	19	56	23	47	24
--	----	----	----	----	----	----

Результирующая дисперсия тракта может быть найдена как

$$\tau_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\tau_i)^2} \quad (13)$$

В нашем случае

$$\tau_{\Sigma} = \sqrt{72^2 + 19^2 + 56^2 + 23^2 + 47^2 + 24^2} = 74 \text{ псек/км} \quad \text{псек/км}$$

На практике часто используют другой статистический параметр – среднеквадратическое отклонение (RMS) дисперсии

$$\tau_{\delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tau_i - \bar{\tau})^2}{n}} \quad (14)$$

где  $\tau_i$  – среднее арифметическое ряда данных хроматической дисперсии  
В приведенном примере

$$\tau_{\delta} = 25 \text{ псек/км}$$

### Выводы

В больших трактах передачи информации необходимо решать проблемы, связанные с затуханием и рассеянием импульса.

Затухание волны в оптических волокнах вызывается расходом энергии на возбуждение колебаний электронов. В конечном счете при прохождении через оптоволокно происходит рассеяние электромагнитных волн, которое может быть значительным из-за отсутствия закругленных краев торцов световодов, в том числе в противоположном направлении идущего луча.

Ввиду анизотропности строения среды передачи данных многомодовые и одномодовые световоды различаются в зависимости от профиля показателей преломления от сердцевины к оболочке.

Оптическая оболочка с большим значением показателя преломления сердцевины и большим значением допустимого угла ввода способна принять большой импульс электромагнитной волны.

Однако ввиду неспособности лазерного источника излучения генерировать когерентный монохромный импульс имеет место наблюдаемая в одномодовых и многомодовых волокнах явление хроматической дисперсии.

Представлены полные расчеты, показывающие искажение и затухание оптических сигналов ввиду зависимости показателя преломления от длины используемого лазерного излучения.

Полученные результаты расчетов оптических коэффициентов лучей совпадают с применяемыми в настоящее время разъемными оптическими соединителями с соответствующим уровнем полировки торцевых поверхностей волокон в оптических разъемах.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Криворучко, В. А., Звонцов, А. С.** Управление физическим уровнем инфокоммуникационной сетевой модели ISO OSI [Текст]: научный журнал/М. :Современная гуманитарная академия, 2014. №10. – С. 57–69

2 **Звонцов, А. С., Кислов, А. П.** Метрологическое обеспечение пассивных компонентов волоконно-оптических линий связи [Текст]: научный журнал вестник Торайғыров университета, 2021. №3. – С.50-62

3 **Olzhas Talipov, Alexandr Kislov, Alexandr Neftissov, Alexey Zvontsov, Lalita Kirichenko,** Metrological Support of Passive Components of Fiber-Optical Communication Lines for Determining the Parameters of the Effective Length of a Multi-Mode Tract Taking Into Account Dispersional Characteristics. //2022 Smart Information Systems and Technologies (SIST) 28-30 April, 2022, Nur-Sultan, Kazakhstan p.482-486

4 **Артюшенко, В. М.** Проектирование и расчет мультисервисных кабельных систем : учебное пособие / В.М. Артюшенко, А.Б. Семенов, Т.С. Аббасова; под ред. А.Б. Семенова. – Москва : ИНФРА-М, 2020. – 174 с. – (Высшее образование: Бакалавриат).

5 **Портнов, Э. Л.** Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи. – М. : Горячая линия – Телеком, 2009.

6 **Семенов, А. Б.** Введение в структурированные кабельные системы [Текст]: учеб.пособие / А.Б. Семенов, В.М. Артюшенко, Т.С. Аббасова; под ред. А.Б. Семенова. – М. : Научный консультант, 2018. – 206 с.

7 **Семенов, А. Б.** Волоконно-оптические подсистемы современных СКС [Текст] /А.Б. Семенов.– М. : ДМК Пресс; Компания «АйТи», 2015. – 632с.

8 **Фриман, Р.** Волоконно-оптические системы связи. – М. : ЗАО «РИЦ «Техносфера», 2003

9 **Хромой, Б. П.** Метрология и измерения в телекоммуникационных системах. – М. : ИРИАС. 2008. – 560 с.

10 **Мандель, А. Е.** Метрология в оптических телекоммуникационных системах : учебное пособие [Текст] А. Е. Мандель. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2014. – 139 с. – Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/72128.html>.

11 **Фокин, В. Г.** Волоконно-оптические системы передачи: практикум / В. Г. Фокин. – Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2011. – 58 с. – Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/35603.html>

12 **Бородихин, М. Г.** Волоконно-оптические системы передачи: практикум [Текст] М. Г. Бородихин, К. Е. Заславский; под редакцией К. Е. Заславский. – Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2010. – 139 с. – // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS :[Электронный ресурс]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/55443.html>

## REFERENCES

1 **Krivoruchko, V. A., Zvontsov, A. S.** Upravlenie fizicheskim urovнем infokommunikacionnoj setевой modeli ISO OSI [Management of info-communication network ISO OSI model's physical level] [Text].// nauchnyj zhurnal Moscov : Sovremennaya gumanitarnaya akademiya, 2014. – № 10. – P. 57–69

2 **Zvontsov, A. S., Kislov, A. P.** [Metrologicheskoe obespechenie passivnyh komponentov volokonno-opticheskikh linij svyazi] Metrological support of passive components of fiber-optical communication lines [Text]: // Vestnik Torajgyrov universiteta, – 2021. – №3. – P. 50–62.

3 **Olzhas Talipov, Alexandr Kislov, Alexandr Neftissov, Alexey Zvontsov, Lalita Kirichenko,** Metrological Support of Passive Components of Fiber-Optical Communication Lines for Determining the Parameters of the Effective Length of a Multi-Mode Tract Taking Into Account Dispersional Characteristics. // 2022 Smart Information Systems and Technologies (SIST) 28–30 April, 2022. Nur-Sultan, Kazakhstan P. 482–486.

4 **Artyushenko, V. M.** Proektirovanie i raschet mul'tiservisnyh kabel'nyh sistem : uchebnoe posobie [Design and calculation of multiservice cable systems] – [Text]. – V. M. Artyushenko, Ed by A. B. Semenov, T. S. Abbasova; A. B. Semenova. – Moscow : INFRA-M, 2020. – P.174 . – (Vysshее obrazovanie : Bakalavriat).

5 **Portnov, E. L.** Principy postroeniya pervichnyh setej i opticheskie kabel'nye linii svyazi. [Principles of construction of primary networks and optical cable communication lines] [Text]. – Moscow : Goryachaya liniya – Telekom, 2009.

6 **Semenov, A. B.** Vvedenie v strukturirovannye kabel'nye sistemy – [Introduction to structured cabling system] [Text]. – : учеб. posobie / A. B. Semenov, V. M. Artyushenko, T. S. Abbasova; Ed by A. B. Semenov. – Moscow : Nauchnyj konsul'tant, 2018. – 206 p.

7 **Semenov, A. B.** Volokonno-opticheskie podsistemy sovremennyh SKS [Fiber-optic subsystems of modern SCS] – [Text]. – / A. B. Semenov. – Moscow : DMK Press; Kompaniya «AjTi», 2015. – 632 p.

8 **Friman, R.** Volokonno-opticheskie sistemy svyazi. [Fiber-optic communication systems] – [Text]. – Moscow : ZAO «RIC «Tekhnosfera», 2015.

9 **Hromoj, B. P.** Metrologiya i izmereniya v telekommunikacionnyh sistemah. [Metrology and measurements in telecommunication systems]. – Moscow : IRIAS, 2008. – 560 p.

10 **Mandel, A. E.** Metrologiya v opticheskikh telekommunikacionny`kh sistemakh : учебное posobie [Metrology in optical telecommunication systems: a tutorial] [Text]. / A. E. Mandel. – Tomsk : Tomskij gosudarstvenny`j universitet sistem upravleniya i radioe`lektroniki, 2014. – 139 p. – // E`lektronno-bibliotecnaya sistema IPR BOOKS : [Electronic resource]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/72128.htm>

11 **Fokin, V. G.** Volokonno-opticheskie sistemy peredachi : praktikum [Fiber optic transmission systems: workshop] [Text]. / V. G. Fokin. – Novosibirsk : Sibirskij gosudarstvennyj universitet telekommunikacij i informatiki, 2011. – 58 p. – [Tekst: elektronnyj] // Elektronno-bibliotecnaya sistema IPR BOOKS: [Electronic resource]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/35603.html>

12 **Borodihin, M. G.** Volokonno-opticheskie sistemy peredachi : praktikum [Fiber optic transmission systems: workshop] [Text]. / M. G. Borodihin, K. E. Zaslavskij; pod redakciej K. E. Zaslavskij. – Novosibirsk : Sibirskij gosudarstvennyj universitet telekommunikacij i informatiki, 2010. – 139 p. – [Text: electronic] // Electronic library system IPR BOOKS: [website]. – [Electronic resource]. URL: <https://www.iprbookshop.ru/55443.html>

Принято к изданию 28.11.23.

*А. С. Звонцов<sup>1</sup>, А. П. Кислов<sup>2</sup>, Л. Н. Кириченко<sup>3</sup>, У. К. Жалмагамбетова<sup>4</sup>  
О. А. Андреева<sup>5</sup>*

<sup>1,2,4</sup>Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

<sup>3</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

Басып шығаруға 28.11.23 қабылданды.

## ОПТИКАЛЫҚ ТАЛШЫҚТАРДАҒЫ ТОЛҚЫНДЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІҢ ФИЗИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІН МЕТРОЛОГИЯЛЫҚ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ

Мақалада оптикалық талшықтар мен оптикалық байланыстарды метрологиялық қамтамасыз етуде қолданылатын толқындық және геометриялық оптиканың физикалық негіздері қарастырылады.

Ақпаратты тасымалдау жүйелерінің негізгі параметрлерінің бірі – жылдамдықтың шыны талшықтарының физикалық құрылымына тәуелділіктері көрсетілген.

Оптикалық жолдың біртекті емес сыну көрсеткішіне байланысты топтық жарық сигналы әртүрлі жылдамдықпен қозғалады, бұл импульс ұзақтығының ұлғаюына әкеледі, бұл дисперсиялық құбылыстарды зерттеуге негіз болады.

Жарық импульсі талшықтың осі бойынша ғана емес, сонымен қатар белгілі бір бұрыштық еңіспен таралатын сәулелер қатарынан тұратыны анықталды.

Оптикалық сигналдардың бұрмалануын және әлсіреуін көрсететін толық есептеулер ұсынылған.

Оптикалық рефлексометрдің жұмыс принципі анықталады және оптикалық талшықты өндірушілердің әртүрлі типтерінің интерфейсіндегі оптикалық байланыс жоғалуларын көрсететін оптикалық сәулелену қуатының талдауы беріледі.

Тура және кері бағытта таралу кезіндегі сигналдың берілу және шағылысу импульстері талданады.

Жарық сәулесінің қос сыну принципін көрсететін беріліс сипаттамалары және осы процестің нәтижесінде пайда болатын өтетін сәуле және шағылған сәуле келтірілген.

Қолда бар индикаторлар талшықты контактілердің тегіс және дөңгелек жиектері бар интерфейсіндегі шағылысу сипатының айырмашылығын көрсетеді.

Кілтімі сөздер: қос сыну құбылысы, кең жолақты коэффициент, жарық апертурасы, сыну көрсеткіші, оптикалық толқын өткізгіш, монохромды сәулелену, жарық импульсі.

*P. Kislov<sup>1</sup>, A. S. Zvontsov<sup>2</sup>, L. N. Kirichenko<sup>3</sup>, U. K. Zhalmagambetova<sup>4</sup>  
O. A. Andreyeva<sup>5</sup>*

<sup>1,2,4</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

<sup>3</sup>AgroTechnical Research University named after S. Seifullin,  
Republic of Kazakhstan, Astana.

Accepted for publication on 28.11.23.

**THE ARTICLE DISCUSSES THE PHYSICAL FOUNDATIONS OF  
WAVE AND GEOMETRIC OPTICS USED  
IN THE METROLOGICAL SUPPORT OF OPTICAL FIBERS  
AND OPTICAL COMMUNICATIONS**

*The dependences of one of the main parameters of information transmission systems – speed – on the physical structure of glass fiber are shown.*

*Due to the inhomogeneous refractive index of the optical path, the group light signal moves at different speeds, which leads to an increase in the pulse duration, which is the basis for the study of dispersion phenomena.*

*It has been determined that the light pulse consists of a series of rays that propagate not only along the axis of the fiber, but also at a certain angular inclination.*

*Complete calculations are presented showing distortion and attenuation of optical signals*

*The operating principle of an optical reflectometer is determined and an analysis of optical radiation power is given, showing optical connection losses at the interface of different types of optical fiber manufacturers.*

*The pulses of transmission and reflection of the signal during propagation in the forward and reverse directions are analyzed.*

*Transmission characteristics are given that show the principle of birefringence of a light beam, and the transmitted beam and reflected beam that appear as a result of this process. The available indicators show the difference in the nature of reflection at the interface with flat and rounded edges of fiber contacts.*

*Keywords: birefringence phenomenon, broadband coefficient, light aperture, refractive index, optical waveguide, monochrome radiation, light pulse.*

Теруге 28.11.2023 ж. жіберілді. Басуға 29.12.2023 ж. кол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4175

Сдано в набор 28.11.2023 г. Подписано в печать 29.12.2023 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4175

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz)