

<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 влодь 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<br>$\Delta$ , нм | Рабочая длина волны<br>$\lambda$ , 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 разъёмных соединителях для муфтового соединения.

Таблица 2 – Потери в разъёмных 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 разъёмных 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 разъёмном 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 разъёмных оптических соединителей до уровня суперполировки 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  $RL_{об}=10 \lg P_{отпр}$ . Учитывая показатели формулы (5), в нашем случае  $RL_{об}=10 \lg 0.079$

Используя уровень качества сигнала 2, получим  $10 \lg P_{отпр}=-30$ , 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  $10^{-5} \frac{пс}{м \cdot нм}$

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

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

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

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 оптоволокну IL, 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

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

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  $\bar{\tau}_i$  – 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 разъёмными оптическими соединителями с соответствующим уровнем полировки торцевых поверхностей волокон в оптических разъёмах.

### 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 information 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 passivnykh komponentov volokonno-opticheskikh liniy 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'tiservisnykh kabel'nykh 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 . – (Vysshee obrazovanie : Bakalavriat).

5 **Portnov, E. L.** Principy postroeniya pervichnykh 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]. – : ucheb.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 podsystemy sovremennykh 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 telekommunikacionnykh sistemah. [Metrology and measurements in telecommunication systems]. – Moscow : IRIAS, 2008. – 560 p.

10 **Mandel, A. E.** Metrologiya v opticheskikh telekommunikacionnykh sistemakh : uchebnoe posobie [Metrology in optical telecommunication systems: a tutorial] [Text]./ A. E. Mandel. – Tomsk : Tomskij gosudarstvennyj universitet sistem upravleniya i radioelektroniki, 2014. – 139 p. – // E'lektronno-bibliotchnaya 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-bibliotchnaya 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.