

УДК 519.87:316.458.6

В.А. Бородавка, І.П. Ольшевський, М.І. Рожков, В.Ю. Лазебник

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА ТА ЇХ ВПЛИВ НА ПЕРЕДАЧУ ІНФОРМАЦІЇ

Предметом вивчення в статті є збереження інформації, при передачі її по волоконно-оптичних лініях зв'язку в зоні проведення антитерористичної операції, регламент яких необхідно проводити обслугою метрологічних ремонтно-відновлювальних груп. Метою статті є аналіз метрологічних характеристик оптичного волокна в зоні проведення антитерористичної операції та дослідження зменшення дефектів волокна при проведенні регламентно-відновлювальних робіт обслугою виїзних метрологічних ремонтно-відновлювальних груп. Задача, що вирішується, – визначення основних метрологічних характеристик оптичного волокна, що обмежують характеристики систем WDM, усунення яких в зоні проведення антитерористичної операції дозволить унеможливити виникнення перешикод при передачі інформації по волоконно-оптичних лініях зв'язку. В статті аналізуються хроматична дисперсія; поляризаційна модова дисперсія; нелінійні оптичні ефекти та досліджується зменшення дисперсії обслугою виїзної метрологічної ремонтно-відновлювальної групи при проведенні регламентно-відновлювальних робіт. Висновки: за результатом проведеного аналізу і дослідження доцільно зменшувати дисперсію за допомогою змушеного зворотного розсіювання Бриллюэна-Мандельштама (на акустичних фононах) та змушеного раманівського або комбінаційного розсіювання (на оптичних фононах). Це необхідно розуміти обслугою виїзної метрологічної ремонтно-відновлювальної групи при проведенні регламентних робіт.

Ключові слова: хроматична дисперсія, поляризаційна модова дисперсія, нелінійні оптичні ефекти.

Вступ

Постановка задачі. Основною задачею під час передачі інформації каналами зв'язку в зоні проведення антитерористичної операції є її збереження, чому сприяє використання волоконно-оптичних ліній зв'язку. Експлуатація волоконно-оптичних ліній зв'язку не можлива без датчиків волоконно-оптичного зв'язку, що знаходяться в найбільш жорстких експлуатаційних умовах через прямий вплив на них об'єкту контролю і зовнішніх експлуатаційних факторів. При проведенні регламентних робіт обслуга виїзної метрологічної ремонтно-відновлювальної групи в зоні проведення антитерористичної операції повинна розуміти метрологічні характеристики оптичного волокна та яким чином досягати зменшення дисперсії у випадку генерації паразитних гармонік на частотах рівних сумі або різниці основних частот системи при проведенні регламентно-відновлювальних робіт, що й визначає актуальність статті.

Аналіз літератури. Принципи й організаційні основи метрологічного забезпечення, а також роль й місце метрологічного забезпечення Збройних Сил України, з урахуванням досвіду проведення антитерористичної операції, викладено в наказах [1–3], в статтях [4; 11], літературі [8–10] та інструкції [12]. Математичні моделі визначення кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їх важливості викладено в статті [5]. Методика прогнозування можливостей метрологічних підрозділів з відновлення пошкоджених засобів вимірювальної

техніки військового призначення викладено в статті [6]. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО викладені в літературі [7]. Нажаль в джерелах [1–12] питання, які пов'язані зі зменшення дисперсії у випадку генерації паразитних гармонік на частотах рівних сумі або різниці основних частот системи при проведенні регламентно-відновлювальних робіт обслугою виїзних метрологічних ремонтно-відновлювальних груп, які залучаються до проведення антитерористичної операції не розглядалися.

Метою статті є аналіз метрологічних характеристик оптичного волокна в зоні проведення антитерористичної операції та дослідження зменшення дефектів волокна при проведенні регламентно-відновлювальних робіт обслугою виїзних метрологічних ремонтно-відновлювальних груп.

Основний матеріал

При проведенні регламентно-відновлювальних робіт, щодо датчиків волоконно-оптичного зв'язку, обслуга виїзних метрологічних ремонтно-відновлювальних груп повинна розрізняти три основні метрологічні характеристики оптичного волокна, що обмежують характеристики систем WDM, а саме: хроматична дисперсія; поляризаційна модова дисперсія; нелінійні оптичні ефекти. Проаналізуємо кожен із них.

Хроматична дисперсія. Важливою оптичною характеристикою скла, використовуюваного при виготовленні волокна, є дисперсія показника перелом-

лення, що проявляється в залежності швидкості поширення сигналу від довжини хвилі – матеріальна дисперсія. Крім цього, при виробництві одномодового волокна, коли кварцова нитка витягається зі скляної заготовки, у тім або іншому ступені виникають відхилення в геометрії волокна й у радіальному профілі показника переломлення. Сама геометрія волокна разом з відхиленнями від ідеального профілю також вносить істотний вклад у залежність швидкості поширення сигналу від довжини хвилі, це – хвильоводна дисперсія. Спільний вплив матеріальної й хвильоводної дисперсій називають хроматичною дисперсією волокна (рис. 1).

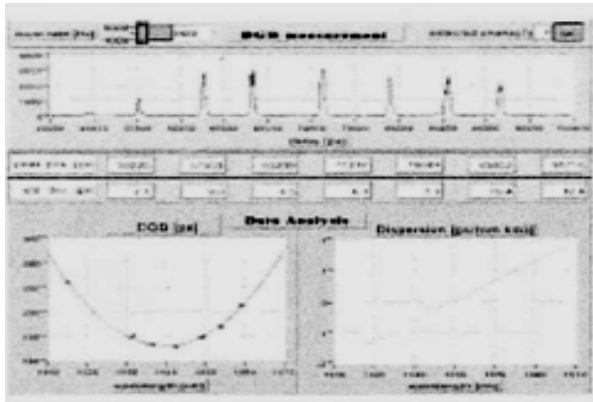


Рис. 1. Залежність хроматичної дисперсії від довжини хвилі

Хроматична дисперсія залежить від матеріальної й хвильоводної складових. При деякій довжині хвилі ахроматична дисперсія звертається в нуль – цю довжину хвилі називають довжиною хвилі нульової дисперсії. Одномодове кварцове волокно зі східчастим профілем показника переломлення має нульову дисперсію на довжині хвилі 1310 нм. Таке волокно часто називають волокном з незміщеною дисперсією. Хвильоводна дисперсія в першу чергу визначається профілем показника переломлення серцевини волокна й внутрішньої оболонки, у волокні зі складним профілем показника переломлення, змінюючи співвідношення між дисперсією середовища й дисперсією хвильоводу, можна не тільки змістити довжину хвилі нульової дисперсії, але й підібрати потрібну форму дисперсійної характеристики, тобто форму залежності дисперсії від довжини хвилі. Форма дисперсійної характеристики є ключовою для систем WDM, особливо, по волокну зі зміщеною дисперсією. Крім параметра λ_0 використовують параметр S_0 , що описує нахил дисперсійної характеристики на довжині хвилі λ_0 , (рис. 2). У загальному випадку, нахил на інших довжинах хвиль відрізняється від нахилу при довжині хвилі λ_0 . Поточне значення нахилу S_0 визначає лінійну складову дисперсії в околиці S_0 . Хроматичну дисперсію (звичайно вимірюється в пс) можна розрахувати за формулою

$$\tau_{\text{chr}} = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L, \quad (1)$$

де $D(\lambda)$ – коефіцієнт хроматичної дисперсії (пс/(нм*км)), а L – довжина лінії зв'язку (км). Помітимо, що дана формула не точна у випадку ультравузькополосних джерел випромінювання.

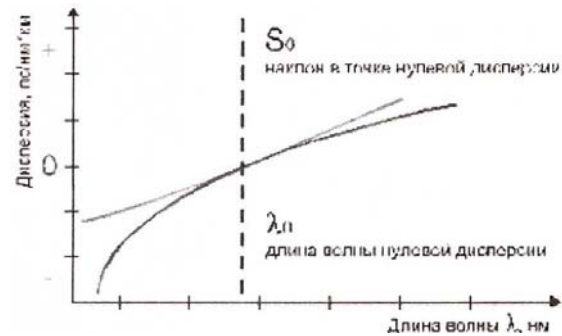


Рис. 2. Основні параметри залежності хроматичної дисперсії від довжини хвилі: λ_0 – довжина хвилі нульової дисперсії й S_0 – нахил дисперсійної характеристики в точці нульової дисперсії

На рис. 3 розділено показані залежності хвильоводної дисперсії для волокна з незміщеною (1) і зміщеною (2) дисперсією й матеріальної дисперсії від довжини хвилі.

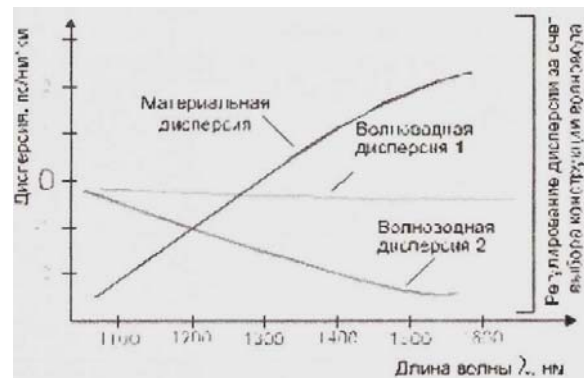


Рис. 3. Залежність дисперсії від довжини хвилі (хроматична дисперсія визначається як сума матеріальної й хвильоводної дисперсії)

Хроматична дисперсія системи передачі чутлива до: збільшення довжини й числа ділянок лінії зв'язку; збільшення швидкості передачі (тому що збільшується ефективна ширина лінії генерації джерела). На неї в меншому ступені впливають: зменшення частотного інтервалу між каналами; збільшення кількості каналів. Хроматична дисперсія зменшується при: зменшенні абсолютного значення хроматичної дисперсії волокна; компенсації дисперсії. У системах WDM зі звичайним стандартним волокном хроматичної дисперсії варто приділяти особливу увагу, тому що вона велика в області довжини хвилі 1550 нм.

Розглянемо далі поляризаційну модову дисперсію. Характеристики ідеального оптичного волокна включають характеристики поширення потужності по

волокну, моди із заданим станом поляризації на заданій довжині хвилі й деякі інші характеристики. Однак, коли волокно покладене в кабель, а кабель далі прокладають у різноманітних місцях й експлуатують при різних умовах, то волокно в кабелі стає далеко неідеальним. Виникаючі в процесі виробництва волокна напруги приводять до залишкових напруг у його серцевині й оболонці, викликаючи надалі важкі явища щодо подвійної променезаломлюваності (рис. 4).

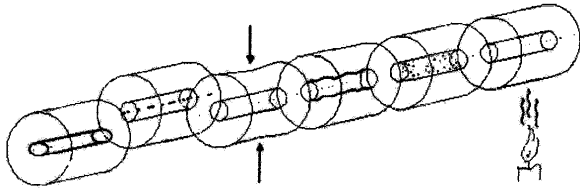


Рис. 4. Поляризаційна модова дисперсія PMD чутлива до коливань температури, механічним напругам і перекручуванням геометрії волокна

Поляризаційна модова дисперсія – це основний механізм, за допомогою якого всі дефекти волокна проявляються на характеристиках системи передачі. У будь-якій точці волокна імпульс поляризованого оптичного випромінювання можна розкласти на поляризаційні складові із двома взаємно ортогональними станами поляризації, спрямованими уздовж двох локально ортогональних осей волокна, так званих, швидкої й повільної осей. Відзначимо, що ці осі не обов'язково відповідають стану лінійної поляризації. На практиці, у покладеному в кабель волокну напрямком цих осей і відносна різниця швидкостей поширення по кожній осі (безпосередньо залежних від величини локального двопронепреломлення) змінюються уздовж оптичного шляху. Для ідеалізованої моделі явище PMD можна представити так, що різні ділянки волокна мають постійні, але різні на кожній ділянці напрямку осей двопронепреломлення. (Локальна зміна орієнтації головних осей двопронепреломлення волокна відомо як явище зв'язку мод.) На кожній ділянці волокна виникне тимчасова затримка між компонентами оптичного сигналу, розкладеного по швидкій і повільній осях. Через те, що напрямком осей двопронепреломлення сусідніх ділянок волокна міняється випадковим образом, форма й границі оптичного імпульсу перетерплюють статистичне тимчасове розпливання. Для кожної виділеної довжини хвилі випромінювання можна підібрати таку орієнтацію площини поляризації оптичного імпульсу на вході, що імпульс при проходженні волокна не буде випробовувати ніякого розпливання (принаймні, на досить короткому інтервалі часу виміру, коли можна зневажити змінами зовнішніх факторів). Існують два взаємно ортогональних стани поляризації, називані основними станами поляризації PSP (Principal State of Polarization). Одне з них відповідає найшвидшому, а інше самому повільному часу поширення імпульсу по волокну. Різниця часів поши-

рення називається диференціальною груповою затримкою DGD (Differential Group Delay), що відповідає даній довжині хвилі. Величина затримки PMD визначається як значення DGD усереднене по довжинах хвиль (рис. 5).

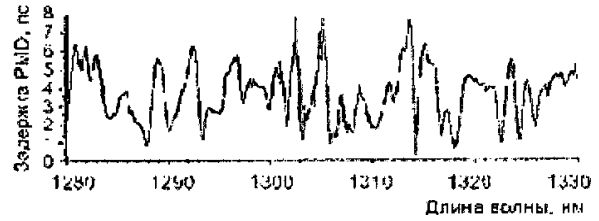


Рис. 5. Значення величини DGD, усереднене по робочому діапазоні довжин хвиль, визначає значення PMD для волокна

Вважаючи неможливість виділення й вимір окремих факторів, що викликає поляризаційна модова дисперсія PMD, то його варто розглядати як безперервний і нестационарний стохастичний процес. Цей процес призводить до розширення інформаційних оптичних імпульсів, що може погіршити якість сигналу при його декодуванні приймачем (рис. 6).

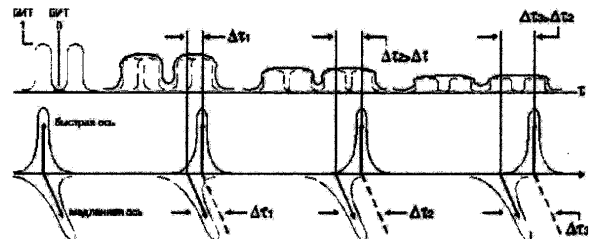


Рис. 6. Передані біти інформаційного сигналу (0, 1) в залежності від поширення по волокну розширюються так, що не можуть бути виявлені фотоприймачем

Таким чином, поляризаційна модова дисперсія є істотним чинником, що обмежує швидкість передачі по волокну й PMD вимірюється для кожної конкретної ділянки прокладеного волокна в лінії зв'язку (рис. 7). Для обчислення PMD лінії зв'язку, що складає з декількох ділянок, виконують процедуру статистичного підсумовування. Загальна поляризаційна модова дисперсія лінії зв'язку визначається як квадратний корінь із суми квадратів PMD окремих ділянок:

$$PMD_{total} = \left(\sum_{n=1}^N PMD_n^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

При наявності однієї поганої ділянки волокна псується загальний зв'язок всієї лінії зв'язку. Тому необхідно проводити тестування всіх ділянок лінії в мережі зв'язку. Немає ніяких підстав вважати те, що якщо кілька обмірюваних ділянок мають малі затримки PMD, то й вся лінія буде мати прийнятне значення PMD. Вплив PMD на якість сигналу в лінії зв'язку

зростає при: збільшенні швидкості передачі (один з найважливіших факторів); збільшенні кількості ділянок лінії (що відповідає збільшенню довжини оптичного каналу); збільшенні кількості каналів (при більшому числі каналів зростає ймовірність великого відхилення диференціальної групової затримки від середнього значення хоча б в одному каналі).

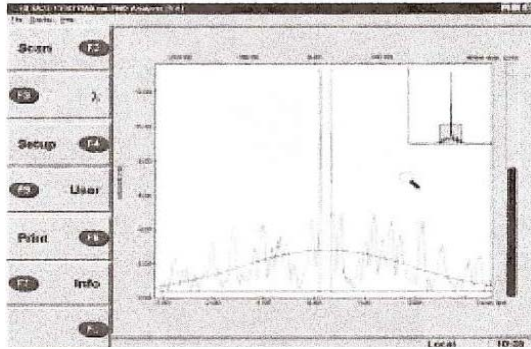


Рис. 7. Приклад виміру PMD інтерферометричним методом

Зменшення частотного рознесення каналів впливає на PMD незначно. Однак PMD можна зменшити, ретельно контролюючи геометрію волокна або збільшуючи зв'язок мод у волокні (рівень обміну потужністю між основними станами поляризації). Вплив технології компенсації хроматичної дисперсії на PMD ще не до кінця з'ясовано, але дослідження в цьому напрямку тривають. Явище PMD є серйозною перешкодою при установці систем WDM на мережах зі звичайним волокном. При використанні нових типів волокна проблема PMD не стоїть настільки гостро.

Розглянемо нелінійні оптичні ефекти. Нелінійні оптичні ефекти у волоконній оптиці подібні до нелінійних ефектів в інших фізичних системах (механічних або електронних). Вони породжують генерацію паразитних гармонік на частотах рівних сумі або різниці основних частот системи. Ці додаткові сигнали приводять до непередбачених явищ втрат в оптичних мережах зв'язку. Нелінійність волокна не є дефектом виробництва або конструкції волокна. Це невід'ємна властивість матеріального середовища при поширенні в ній будь-якої електромагнітної енергії. Як розроблювачам, так і операторам волоконно-оптичних мереж зв'язку варто враховувати нелінійні ефекти через високу когерентність використовуваного лазерного випромінювання. При заданому рівні переданої потужності напруженість електричного поля зростає зі збільшенням ступеня когерентності випромінюваних хвиль. Таким чином, у системах WDM с високим ступенем когерентності оптичні сигнали, навіть помірної потужності, можуть приводити до нелінійних явищ (рис. 8). Нелінійність волокна стає відчутною, коли інтенсивність лазерного випромінювання (потужність на одиницю поперечного переріза) досягає граничного значення.

Крім того, вплив нелінійностей виявляється після проходження сигналом певного шляху по волокну залежно від параметрів й конструкції волокна та умов його роботи.

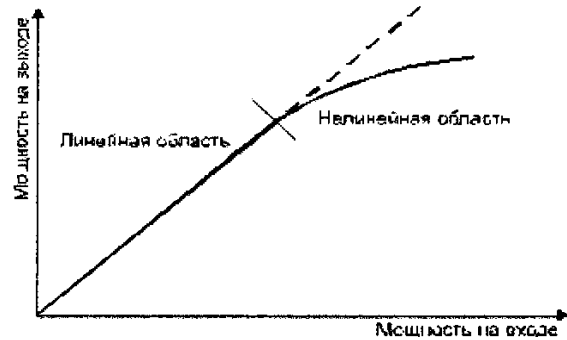


Рис. 8. Прояв нелінійності при високому рівні потужності

Напруженість електричного поля E оптичного сигналу, що поширюється, пропорційна його P потужності, помноженої на квадратичну по полю нелінійну n_2 добавку показника переломлення волокна й діленої на ефективну площу серцевини A_{eff} волокна, і може бути представлена як:

$$E(z+dz) = E(z) \exp \left[\left(-\frac{\alpha}{2} + i\beta + \frac{\gamma P(zL)}{2} \right) dz \right], \quad (3)$$

де α – загасання у волокні, фаза хвилі, що поширюється;

β – коефіцієнт нелінійності, що дорівнюється $\left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \left(\frac{n_2}{A_{\text{eff}}} \right)$.

При припущенні, що оптичне випромінювання поширюється у волокні у вигляді гаусова пучка, то ефективну площу можна виразити через діаметр модового поля волокна MFD (Field diameter):

$$A_{\text{eff}} = \pi \text{MFD}^2. \quad (4)$$

Для волокон зі зміненою дисперсією й з ненульовою зміненою дисперсією ефективна площа A_{eff} приблизно дорівнює 50–60 μm^2 , у той час як для волокна зі зміненою дисперсією вона становить близько 80 μm^2 . Іноді використовують поняття ефективної довжини волокна $L_{\text{eff}} \left(\gamma \approx \frac{1}{L_{\text{eff}}} \right)$, що дає той же ефект, що й величина A_{eff} . Для типового одномодового волокна L_{eff} становить 20 км. Залежно від характеру поведінки нелінійного коефіцієнта γ всі нелінійні явища можна розділити на дві категорії. Це явища розсіювання (коли дійсна частина коефіцієнта γ дає посилення або загасання) і явища переломлення (коли мнима частина коефіцієнта γ приводить до фазової модуляції). У явищах розсію-

вання сигнал лазера розсіюється на звукових хвилях (акустичних фононах) або на молекулярних коливаннях волокна (оптичних фононах) і зміщується в область більше довгих хвиль. Мають місце два наступні ефекти розсіювання: змушене зворотне розсіювання Бриллюэна-Мандельштама (на акустичних фононах); змушене рамановське або комбінаційне розсіювання (на оптичних фононах). У явищах, що залежать від показника переломлення, при високому рівні потужності сигналу необхідно враховувати нелінійність показника переломлення:

$$n = n_0 + n_2 I, \quad (5)$$

де n_0 – показник переломлення волокна;

n_2 – коефіцієнт нелінійності показника переломлення волокна $((2 \dots 3 \dots 3) \times 10^{-16} \text{ см}^2 / \text{Вт} \text{ см}^2 / \text{Вт}$ для кварцового волокна);

I – інтенсивність оптичного сигналу.

Перелічімо явища, що залежать від показника переломлення, це: фазова автомодуляція або вплив сигналу на власну фазу; перехресна фазова модуляція або вплив сигналу одного каналу на фазу сигналу в іншому каналі; чотирьох хвилеве змішання або змішання деякого числа хвиль із виникненням випромінювання на нових довжинах хвиль.

Висновки

1. В статті проаналізовані три основні метрологічні характеристики оптичного волокна в оптичному волокну, що обмежують характеристики систем WDM – це хроматична дисперсія, поляризаційна модова дисперсія й нелінійні оптичні ефекти.

2. В випадку хроматичної дисперсії вона зменшується при зменшенні абсолютного значення хроматичної дисперсії волокна; компенсації дисперсії.

3. Поляризаційна модова дисперсія – це основний механізм, за допомогою якого всі дефекти волокна проявляються на характеристиках системи передачі.

4. В випадку нелінійних ефектів породжуються генерація паразитних гармонік на частотах рівних сумі або різниці основних частот системи.

5. Потрібно зменшувати дисперсію за допомогою змушеного зворотного розсіювання Бриллюэна-Мандельштама (на акустичних фононах) та змушеного раманівське або комбінаційне розсіювання (на оптичних фононах).

6. Проведений аналіз та дослідження зменшення дисперсії необхідно використовувати обслуговою виїзною метрологічною ремонтно-відновлювальною групи при проведенні регламентно-відновлювальних робіт.

Список літератури

1. Наказ Міністерства оборони України від 24.05.2017 № 288 “Про затвердження Положення про метрологічну службу Міністерства оборони України та Збройних Сил України”.
2. Наказ Міністра оборони України від 18.01.2010 № 12 “Про затвердження Концепції розвитку системи метрологічного забезпечення у сфері оборони на період до 2015 року та на перспективу до 2025 року”.
3. Наказ начальника Центрального управління метрології і стандартизації від 14.05.2007 № 2 “Про затвердження Керівництва з організації виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України”.
4. Кононов В.Б. Метрологічне забезпечення у сфері оборони в умовах проведення антитерористичної операції / В.Б. Кононов, С.А. Копашинський, О.В. Коваль // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – Х.: ХНУПС, 2017. – № 4(53). – С. 144-147.
5. Кононов В.Б. Математичні моделі визначення кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їх важливості / В.Б. Кононов, В.В. Бурцева // Системи обробки інформації. – Вип. 1 (147). – Х.: ХНУПС, 2017. – С. 88-92.
6. Кононов В.Б. Методика прогнозування можливостей метрологічних підрозділів з відновлення пошкоджених засобів вимірювальної техніки військового призначення / В.Б. Кононов // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: НАКУ ХАИ. – 2011. – № 8 (85). – С. 231-234.
7. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО: навч. посіб. / В.Б. Кононов, А.М. Науменко, О.В. Водолажко, О.В. Коваль, І.І. Кондрашова. – Х.: ХНУПС, 2017. – 288 с.
8. Швець С.В. Вимірювальні системи та комплекси спеціального призначення: навч.-метод. посіб. / С.В. Швець, С.В. Рудаков, Ю.П. Шамаєв. – Х.: ХУПС, 2006. – 87 с.
9. Кузнецов І.Б. Організація метрологічного забезпечення військ (сил). Ч. 1: навч. посіб. / І.Б. Кузнецов, П.М. Яблонський. – К.: НУОУ, 2009. – 356 с.
10. Кузнецов І.Б. Організація застосування пересувних засобів метрологічного обслуговування: навч. посіб. / І.Б. Кузнецов, О.В. Ярошенко. – К.: НУОУ, 2009. – 356 с.
11. Удосконалення парку пересувних лабораторій вимірювальної техніки як фактор підвищення оперативності та ефективності метрологічного обслуговування складних систем / І.Б. Кузнецов, В.Т. Марценківський, О.В. Ярошенко, О.В. Буяло, В.О. Проценко // Збірник наукових праць Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2011. – Вип. 32. – С. 33-46.
12. Інструкція з організації роботи виїзних метрологічних груп метрологічних частин, затверджена начальником Центрального управління метрології і стандартизації – головним метрологом ЗС України від 09.10.2006.

References

1. The order of the Ministry of Defense of Ukraine from 24.05.2017 No. 288 (2017), “Pro zatverdzhennia Polozhennia pro metrolohichnu sluzhbu Ministerstva oborony Ukrainy ta Zbroinykh Syl Ukrainy” [About approval of the Provision on metrological service of the Ministry of Defence of Ukraine and Armed Forces of Ukraine].
2. The order of the Minister of Defense of Ukraine from 18.01.2010 No. 12 (2010), “Pro zatverdzhennia Kontseptsii rozvytku systemy metrolohichnoho zabezpechennia u sferi oborony na period do 2015 roku ta na perspektyvu do 2025 roku” [About approval of the Concept for the development of the metrological support system in the field of defense for the period up to 2015 and for the perspective up to 2025].
3. The order of the Head of the Central Department of Metrology and Standardization from 14.05.2007 No. 2 (2007), “Pro zatverdzhennia Kerivnytstva z orhanizatsii vyrobnychoi diialnosti viiskovykh metrolohichnykh laboratorii v Ministerstvi oborony Ukrainy ta Zbroinykh Sylakh Ukrainy” [About approval of the Manual for the organization of production activities of military metrology laboratories in the Ministry of Defense of Ukraine and the Armed Forces of Ukraine].
4. Kononov, V.B., Kopashynskiy, S.A. and Koval, O.V. (2017), “Metrolohichne zabezpechennia u sferi oborony v umovakh provedennia antyterrorystychnoi operatsii” [Metrological support in the field of defense in the context of the antiterrorist operation], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 4(53), KNAFU, Kharkiv, pp. 144-147.
5. Kononov, V.B. and Burtseva, V.V. (2017), “Matematychni modeli vyznachennia kilkosti zamovlen na harantovane metrolohichne obsluhovuvannia zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki z urakhuvanniam yikh vazhlyvosti” [Mathematical models for determination of the number of orders for guaranteed metrological maintenance of weapons and military equipment samples taking into account their importance of Information processing systems], *Information Processing Systems*, No. 1 (147), KNAFU, Kharkiv, pp. 88-92.
6. Kononov, V.B. (2011), “Metodyka prohnouzuvannia mozhlivostei metrolohichnykh pidrozdiliv z vidnovlennia poskodzhennykh zasobiv vymiriuvanoi tekhniki viiskovoho pryznachennia” [Methodology of forecasting of possibilities of metrological units for the repair of damaged measuring equipment of military purpose], *Aerospace technology*, No. 8 (85), KHAL, Kharkiv, pp. 231-234.
7. Kononov, V.B., Naumenko, A.M., Vodolazhko, O.V., Koval, O.V. and Kondrashova, I.I. (2017), “Osnovy ekspluatatsii zasobiv vymiriuvanoi tekhniki viiskovoho pryznachennia v umovakh provedennia ATO” [Fundamentals of Operation of Means of Measuring Equipment for Military Purposes under the conditions of ATO], KNAFU, Kharkiv, 288 p.
8. Shvec, S.V., Rudakov, S.V. and Shamaev, Y.P. (2006), “Vymiriuvalni systemy ta komplekсы spetsialnoho pryznachennia” [Measuring systems and special-purpose complexes], KAFU, Kharkiv, 87 p.
9. Kusnetsov, I.B. and Yablonskiy, P.M. (2009), “Orhanizatsiia metrolohichnoho zabezpechennia viisk (syl)” [Organization of metrological support of troops (forces)], P. 1, NUOU, Kyiv, 356 p.
10. Kusnetsov, I.B. and Yaroshenko, O.V. (2009), “Orhanizatsiia zastosuvannia peresuvnykh zasobiv metrolohichnoho obsluhovuvannia” [Organization of the using of mobile metrological services], NUOU, Kyiv, 356 p.
11. Kusnetsov, I.B. Martchenkivskiy, V.T., Yaroshenko, O.V., Buyalo, O.V. and Protsenko, V.O. (2011), “Udoskonalennia parku peresuvnykh laboratorii vymiriuvanoi tekhniki yak faktor pidvyshchennia operatyvnosti ta efektyvnosti metrolohichnoho obsluhovuvannia skladnykh system” [Improvement of park of mobile laboratories of measuring technique as a factor of increasing efficiency and efficiency of metrological service of complex systems] // *Collection of scientific works of Kyiv national university named Tarasa Shevchenka*. No. 32, The Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kiev, Kyiv, pp. 33-46.
12. Head of the Central Department of Metrology and Standardization – the main metrologist of the Armed Forces of Ukraine, (2006), “Instruktsiia z orhanizatsii roboty vyiznykh metrolohichnykh hrup metrolohichnykh chastyn” [Instruction of the organization of work of the visiting metrological groups of metrological units].

Надійшла до редколегії 28.07.2017

Схвалена до друку 7.09.2017

Відомості про авторів:**Бородавка Вадим Валерійович**

кандидат технічних наук доцент
заступник начальника факультету
Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7574-5953>
e-mail: boroda012010@gmail.com

Ольшевський Іван Петрович

Старший викладач
Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9710-687X>
e-mail: rombachu@ukr.net

Information about the authors:**Borodavka Vadim**

Candidate of Technical Science Associate Professor
Deputy chief of the Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7574-5953>
e-mail: boroda012010@gmail.com

Olshevski Ivan

Senior Lecturer
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9710-687X>
e-mail: rombachu@ukr.net

Рожков Микола Іванович

кандидат технічних наук доцент доцент,
старший науковий співробітник
науково-дослідного відділу
Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8356-8659>
e-mail: rozkow@ukr.net

Rozhkov Mikola

Candidate of Technical Science Associate Professor,
Senior Research Associate
of Scientific Research Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8356-8659>
e-mail: rozkow@ukr.net

Лазебник Віталій Юрійович

курсант Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2288-0737>
e-mail: v.lazebnik@icloud.com

Lazebnik Vitalii

cadet of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2288-0737>
e-mail: v.lazebnik@icloud.com

**МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА
И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПЕРЕДАЧУ ИНФОРМАЦИИ**

В.А. Бородавка, И.П. Ольшевский, Н.И. Рожков, В.Ю. Лазебник

Предметом изучения в статье есть сохранение информации, при её передаче по волоконно-оптическим линиям связи в зоне проведения антитеррористической операции, регламент которых необходимо проводить расчетом метрологических ремонтно-восстановительных групп. Целью статьи является анализ метрологических характеристик оптического волокна в зоне проведения антитеррористической операции и исследование уменьшения дефектов волокна при проведении регламентно-восстановительных работ расчетами метрологических ремонтно-восстановительных групп. Решаемая задача – определение основных метрологических характеристик оптического волокна, что ограничивают характеристики систем WDM, устранение которых в зоне проведения антитеррористической операции позволит обеспечить недопущение возникновения помех при передаче информации по волоконно-оптическим линиям связи. В статье анализируется хроматическая дисперсия; поляризационная модовая дисперсия; нелинейные оптические эффекты и исследуется уменьшение дисперсии расчетами метрологических ремонтно-восстановительных групп при проведении регламентно-восстановительных работ. Выводы: по результатам проведенного анализа и исследования целесообразно уменьшить дисперсию при помощи принужденного обратного рассеивания Бриллюена-Мандельштама (на акустических фонах) и принужденного рамановского или комбинационного рассеивания (на оптических фонах). Это необходимо понимать расчетам метрологических ремонтно-восстановительных групп при проведении регламентных работ.

Ключевые слова: хроматическая дисперсия; поляризационная модовая дисперсия; нелинейные оптические эффекты.

**METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF OPTICAL FLOW
AND THEIR INFLUENCE ON THE TRANSMISSION OF THE INFORMATION**

V. Borodavka, I. Olshevskiy, M. Rozhkov, V. Lazebnik

The subject of the studying in article is the saving of the information, at its transmission by fiber-optical flow lines at the zone of antiterroristic operation, the regulations of which must be carried out by the calculation of metrological repair and recovery groups. The purpose of the article is the analysis of metrological characteristics optical fibers at the zone of antiterroristic operation and investigation fiber defect reduction during the routine maintenance work by the calculation of metrological repair and recovery groups. The task – determination of the basic metrological characteristics of optical fiber, which limit the characteristics of the system WDM, elimination of which at the zone of antiterroristic operation will ensure that no interference is caused when transmitting information over fiber optic lines. In the article it is analyzed chromatic dispersion; polarization mode dispersion; nonlinear optical effects and a decrease in the variance by the calculation of metrological repair and recovery groups during the routine maintenance work. Conclusions: on the results of the analysis and researching it is advisable to reduce the dispersion by means of forced backscattering Brillouin Mandelstam (on acoustic backgrounds) and forced Raman or combined scattering (on optical backgrounds). It is important to understand to the calculation of metrological repair and recovery groups during the routine maintenance work.

Keywords: chromatic dispersion; polarization mode dispersion; nonlinear optical effects.