

**Определение 52** дерева вывода. Выводам в контекстно-свободной грамматике соответствуют так называемые *деревья вывода* (или *деревья разбора*) (derivation tree, parse tree) - некоторые упорядоченные деревья, вершины которых помечены символами алфавита  $N \cup \Sigma$ .

Корень дерева отвечает начальному символу. Каждому символу слова  $W_1$ , на которую заменяется начальный символ на первом шаге вывода, ставится в соответствие вершина дерева, и к ней проводится дуга из корня. Полученные таким образом непосредственные потомки корня упорядочены согласно порядку их меток в слове  $W_1$ . Для тех из полученных вершин, которые помечены символами из множества  $N$ , делается аналогичное построение и т. д.

*Кроной* дерева вывода называется слово, записанное в вершинах, помеченных словами из алфавита  $\Sigma$ .

### Выводы

В статье приведены основные определения, леммы, а также теоремы с доказательствами, которые показывают возможность применения теории формальных языков для описания языков высокого уровня программирования. На базе предложенных математических выражений планируется разработать методологию расчёта стоимости программного

обеспечения на ранней стадии составления технического задания на базе прототипа интерфейса пользователя.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Невлюдов И.Ш. Анализ применимости математических моделей СОСОМО при разработке современных корпоративно - информационных систем технологической подготовки производства / И.Ш. Невлюдов, В.В. Евсеев, В.О. Бортникова // Кременчуг: КНУ им. М. Остроградского, 2011. – С. 152-153.
2. Невлюдов И.Ш. Модели жизненного цикла программного обеспечения при разработке корпоративных информационных систем технологической подготовки производств / И.Ш. Невлюдов, В.В. Евсеев, В.О. Бортникова // Вестник Национально-го технического уни-верситета «ХПИ». - Харьков.-2011.- Вып. № 2.-С.94-101.
3. Евсеев В.В. Применение программных метрик кода на раннем этапе жизненного цикла программного обеспечения / В.В. Евсеев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. - Харьков.-2011.- Вып. № 1/2 (49).-С.19-21.
4. Невлюдов И.Ш. Анализ жизненного цикла разработки программного обеспечения для корпоративных информационных систем/ И.Ш. Невлюдов, А.А. Андрусевич, В.В. Евсеев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. - Харьков.-2010.- Вып. 6/8(48).-С.25-27.
5. Пентус А.Е. Теория формальных языков / А.Е. Пентус, М.Р. Пентус. – М.: Издательство Центра прикладных исследований при механико-математическом факультете МГУ, 2004 – 80 с.

УДК 681.7.068.4

## ЗАСТОСУВАННЯ АВТОКОНВОЛЮЦІЙНОГО МЕТОДУ АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ ФОТОННО-КРИСТАЛІЧНИХ ВОЛОКОН В АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЇХ З'ЄДНАННЯ

Д.т.н. О.І.Филипенко, О.В. Сичова, Харківський національний університет радіоелектроніки

Наведено функціональну схему та алгоритм системи керування апаратом зварки оптичних волокон. Запропоновано класифікацію та склад технічного контролю, який виконується в автоматизованій системі керування технологічним процесом зварювання з метою підвищення якості з'єднання оптичних волокон. Розглянуто методи позиціонування стандартних оптичних волокон, виявлено, що найбільш придатним у випадку з'єднання фотонно-кристалічних волокон є метод фокусування.

Приведено функциональная схема и алгоритм системы управления аппаратом сварки оптических волокон. Предложено классификация и состав технического контроля, выполняющегося в автоматизированной системе управления технологическим процессом сварки с целью повышения качества соединения оптических волокон. Рассмотрены методы позиционирования стандартных оптических волокон, выявлено, что наиболее подходящим в случае соединения фотонно-кристаллических волокон является метод фокусировки.

The article presents functional scheme and algorithm the control system device welding optical fibers. Classification and structure of technical control in

automated control system of welding process to improve the connection quality of optical fibers proposes. The methods of positioning standard optical fibers reviewed. The most suitable for the connection of photonic crystal fibers is focusing method.

**Ключові слова:** фотонно-кристалічне волокно, позиціонування, зварювання, втрати сигналу, контроль якості з'єднання

### Загальна характеристика проблеми

Під час експлуатації елементів функціональної електроніки, побудованих на основі фотонно-кристалічних волокон (ФКВ), виникає необхідність їх з'єднання між собою або зі стандартними оптичними волокнами (ОВ). З'єднання бувають роз'ємними або нероз'ємними. Нероз'ємні з'єднання можуть отримуватися за допомогою зварювальних пристроїв. Автоматизація процесу зварювання виконується шляхом введення у зварювальний апарат системи автоматичного керування [1], узагальнена функціональна схема якої представлена на рис. 1.

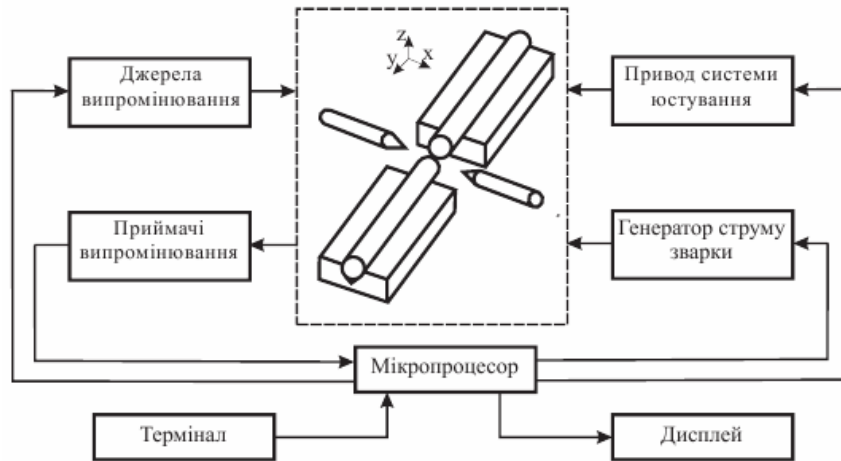


Рис. 1. Функціональна схема системи керування зварювальним апаратом

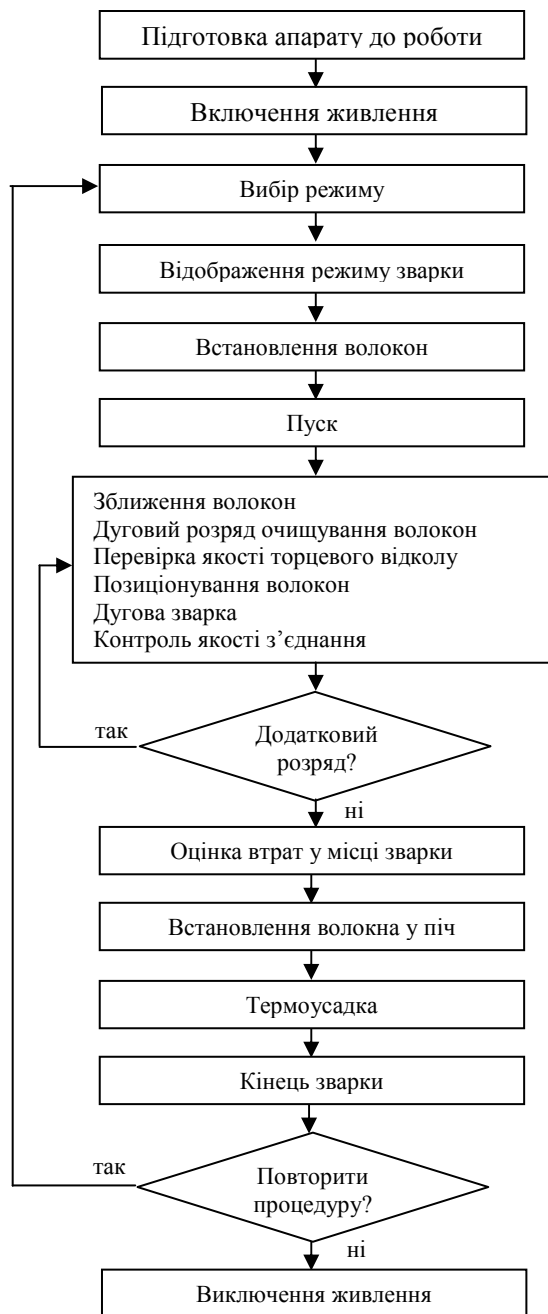


Рис. 2. Алгоритм автоматизованого керування зварювальним апаратом

Керування системою юстування волокон, струмом зварки (дуги) й джерелами випромінювання здійснюється мікропроцесором, який оброблює сигнали фотоприймачів у відповідності з алгоритмом, що використовується. Введення необхідних вихідних даних і програми математичної обробки зазначених сигналів здійснюється з терміналу зварювального апарату під час контролю цифрової і графічної інформації про введені дані, процеси та результати зварки за допомогою РКІ дисплею.

На рис. 2 наведено узагальнений алгоритм автоматичного керування зварювальним апаратом. З метою зменшення втрат, які виникають в процесі з'єднання волокон, треба постійно покращувати технічні й експлуатаційні характеристики зварювального обладнання. Щоб досягти високі якісні показники у місці стику волокон необхідно забезпечити контроль позиціонування та оптико-геометричних розузгоджень волокон, що з'єднуються. При цьому контроль виступає засобом керування процесом з'єднання ФКВ як під час позиціонування волокон, так і під час оцінювання втрат у місці стику та визначення якості зварки в цілому.

Розробка нового методу контролю позиціонування ФКВ дозволить підвищити якість та продуктивність автоматизованого процесу з'єднання за рахунок мінімізації оптико-геометричних розузгоджень між волокнами та зменшення втрат оптичного сигналу в місці стику.

#### Постановка завдання досліджень

Метою досліджень є проведення критичного аналізу існуючих методів контролю позиціонування, які використовуються під час з'єднання стандартних оптичних волокон, щоб визначити недоліки та можливість застосування цих методів в автоматизованій системі керування процесом з'єднання нових типів світловодів, а саме фотонно-кристалічних волокон.

#### Контроль якості позиціонування, як складова автоматизованої системи керування процесом з'єднання ФКВ

У загальному випадку автоматизована система керування (АСК) це сукупність підсистем, які виділені за певною функціональною ознакою, що відповідають конкретним цілям і завданням керування. Однією з

підсистем АСК є автоматизована система керування технологічним процесом (АСК ТП).

Контроль позиціонування фотонно-кристалічних волокон є складовою частиною підсистеми АСК ТП, а саме, складовою частиною керування якістю виконання з'єднання ФКВ.

Щоб встановити відповідність контрольованого місця стику встановленим технічним вимогам виконується технічний контроль. Сукупність усіх засобів та пристроїв, вбудованих в АСК ТП для виконання контролю та діагностики, утворює систему підтримки працездатності. Така система повинна виконувати функції технічного контролю та функції технічного діагностування.

Згідно зі стандартами, процеси технічного контролю розробляються для вхідного, операційного та приймального контролю (рис.3). Технічний контроль діє впродовж усіх трьох етапів автоматичного циклу АСК ТП.



Рис. 3. Класифікація та склад технічного контролю в процесі зварювання

У процесі вхідного контролю перевіряються технічний стан обладнання, системи керування, проводиться контроль готовності пристрою зварки згідно обраним режимам зварювання.

Контроль на другому етапі процесу є найважливішою задачею системи керування. В залежності від точності та ретельності проведення контролю на цьому етапі забезпечується отримання якісного, з малими втратами з'єднання. До початку процесу зварювання та по його завершенні перевіряється зміщення оптичних волокон, стан торцевих поверхонь, а також деформація. При здійсненні операційного контролю вирішуються завдання позиціонування волокон (досягнення мінімального куткового, поздовжнього, поперечного зміщень), а також отримання рівного відколу торців волокон, що з'єднуються.

Приймальний контроль забезпечує визначення відхилень значень зсувів зварених волокон від допустимих, а також робить висновок про якість отриманого з'єднання на основі розрахованих втрат потужності оптичного сигналу.

За результатами аналізу технологічного процесу з'єднання ФКВ запропоновано структуру автоматизованої системи керування ТП та її зв'язок з етапами технологічного процесу (рис. 4).

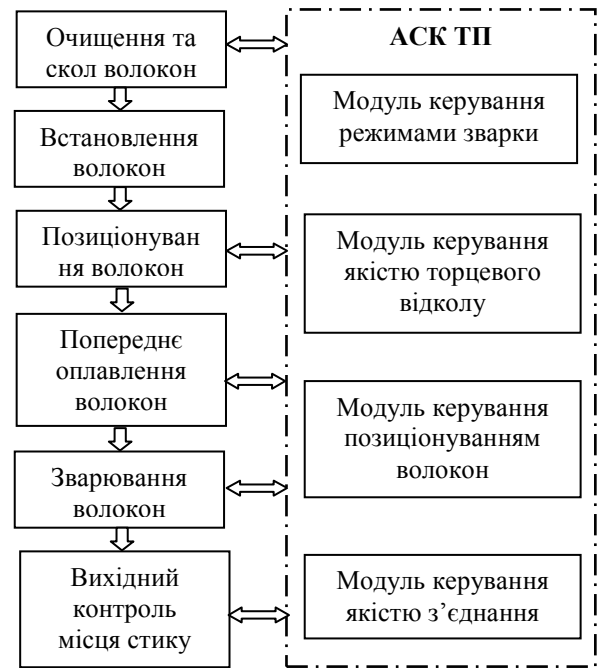


Рис. 4. Структурна схема взаємодії АСК ТП з етапами ТП зварного з'єднання ФКВ

Основними етапами технологічного процесу виконання зварного з'єднання є:

- підготовка торцевих поверхонь оптичних волокон;
- встановлення підготовлених кінців оптичних волокон у направляючі системи зварювального апарата;
- позиціонування оптичних волокон;
- попереднє оплавлення торців оптичних волокон з метою видалення мікронерівностей, які виникають у процесі сколювання;
- безпосереднє зварювання оптичних волокон;
- оцінка якості зварки.

Під час розробки заходів автоматизації технології контролю позиціонування та якості з'єднання ФКВ необхідно використовувати комплексний підхід, що дозволяє розкрити цілісність системи, враховувати внутрішні та зовнішні зв'язки, узгодженість рішень, як для окремих елементів, так і для системи в цілому, передбачити можливість розвитку й адаптації.

#### Теоретичне обґрунтування методу контролю позиціонування фотонно-кристалічних волокон під час виконання з'єднання

На сьогоднішній день існують різні принципи та методи дослідження і контролю оптичних волокон: з використанням мікроскопів, тіньові, ближнього поля,

поляризаційні, дальнього поля. Всі ці методи відносяться до амплітудних, тобто їх поріг чутливості (мінімальна просторова роздільна здатність відхилень діаметра волокна від заданого номіналу) визначається дозволим апаратурою мінімумом різниці двох інтенсивностей сигналів, які впливають на оптичне волокно: світлових, ємнісних, індукційних та ін. Перехід від амплітудних методів до хвильових зменшує поріг чутливості, тобто зменшує дозволене відхилення геометричних параметрів зварного з'єднання волокон, що збільшує точність дослідження та контролю. Такі методи, як дифракційний, інтерференційний і голографічний, дозволяють визначити зміни параметрів волокон, сумірні з довжиною хвилі випромінювання.

Безконтактні методи вимірювання оптико-геометричних параметрів ОВ різноманітні й достатньо прості у реалізації. За останні роки була розроблена велика кількість безконтактних оптичних методів, які базуються на різних оптичних явищах. Процес неруйнівного вимірювання зварних з'єднань волокон складається з трьох етапів: формування опромінюваного пучка, його взаємодія з об'єктом вимірювання і формування зони реєстрації інформаційного сигналу.

По типу опромінюючого пучка методи можна розділити на два класи: ті, що використовують вузький пучок (порівняно з геометричними розмірами поперечного перетину об'єкта) і ті, що використовують широкий пучок, розмір якого на порядок або більше перевищує діаметр контрольованого об'єкта. Реєстрацію інформаційного сигналу можна здійснювати у двох областях – ближній або дальній зоні площини зображення.

В сучасних зварювальних апаратах найчастіше застосовуються два основних методи юстування: юстування по оболонці і юстування по сердцевині ОВ.

Юстування по оболонці – пасивний вид юстування, який здійснюється за допомогою V-образних направляючих, які фіксують кінці оптичних волокон, що з'єднуються. Як правило, такий вид юстування застосовується, коли не висуваються високі вимоги до внесених втрат.

Юстування по сердцевині виконується автоматично, за допомогою мікропроцесора, шагових двигунів і прецизійних елементів приводу (як правило, на основі п'єзоелекту), забезпечуючи позиціонування по трьох напрямках: по горизонталі, по вертикалі та вздовж осі.

Більшість існуючих методів, які використовуються для позиціонування стандартних оптичних волокон, базуються на основі вимірювання та подальшого аналізу оптичних зображень. В залежності від розв'язуваної задачі, оптичні методи визначення координат можуть будуватися за схемою зондування оптичного волокна подовжнім або поперечним (щодо осі волокна) променем. Різниця полягає в тому, що в першому випадку аналізується модове поле випромінювання оптичного волокна, а в другому – оптичне поле, що є результатом фокусувочної дії поперечно освітленого оптичного волокна.

Наведена на рис.1 схема відповідає системі керування зварювальних апаратів, які виконанні на основі

систем PAS (Profile Alignment System – система юстування по геометричним параметрам або системи вирівнювання волокон за допомогою аналізу теплових зображень) та LID (Local light Injection and Detection – система юстування по максимальній потужності випромінювання). Необхідно тільки врахувати, що в PAS системах джерелами й приймачами випромінювання являються, відповідно, джерела зовнішнього освітлення волокон і ПЗЗ фотоприймачі, в той час як в системі LID джерело і приймач випромінювання служать для вводу і зняття світлового потоку з волокон, що з'єднуються.

Застосування у зварювальних апаратах ПЗЗ фотоприймачів дозволяє перед початком зварювання візуально контролювати результат центрування, тип волокна, якість торців та мікрозабруднення оптичних волокон, що з'єднуються, а по закінченню зварювання – оцінити якість зварного з'єднання. Крім того, ряд зварювальних апаратів представляє в цифровому вигляді інформацію про значення кута відколу та зсуву осей оболонки (серцевин) волокон до та після зварювання, а також розрахункове значення втрат у місці зварки. Однак така оцінка не враховує всіх можливих факторів, які призводять до виникнення втрат. Так, наприклад, навіть при високій якості з'єднання волокон можливо виникнення додаткових втрат, які обумовлені нерівністю діаметрів їх модових полів, що має місце при зварюванні неідентичних волокон.

LID-метод позиціонування оптичних волокон полягає в введенні контрольованого оптичного сигналу в сердцевину першого волоконного об'єкта та зняття його з сердцевини другого та максимізацією вихідного сигналу за рахунок переміщення волокон мікропереміщувачами. При цьому введення та виведення оптичного випромінювання виконується в місцях вигину оптичних волокон. Необхідна форма вигину волокон забезпечується спеціальними оправками, які крім цього притискають волокна в місцях вигину к оптичному випромінювачу та приймачу. Юстування закінчується, коли на виході реєструється максимальний сигнал. Але під час з'єднання волокон з різними діаметрами модових полів може бути так, що діаметр сердцевини приймаючого волокна буде більше діаметра передаючого. При цьому показання вимірювача потужності будуть припустимими, однак може виникнути зміщення осей волокон, що негативно відобразиться на якості з'єднання.

Принцип PAS-методу полягає в наступному. Світловод освітлюється пучком колімованого некогерентного світла перпендикулярно осі волокна. Волокно фокусує світло, діючи як циліндрична лінза. Частина промінів, які проходять на відстані від центру сердцевини близько до радіусу сердцевини, перетерплюють заломлення на границі сердцевини – оболонки, внаслідок чого в невеликій області за сердцевиною виникає провали у розподілі щільності світлової енергії, які в площині зображення спостерігаються у вигляді темних ліній на світлому фоні. Юстування ОВ полягає у суміщенні темних ліній, відповідних границям сердцевин першого та другого волокон. Розподіл потоку випромінювання на виході ОВ вимірюється відеокамерою, отримані данні оброблюються на комп'ютері. При цьому формується

зображення, на якому видно границі оболонки й серцевини волокна, що дозволяє визначити ексцентриситет в кожному з волокон, які з'єднуються. Погрішність суміщення темних ліній порівняна з величиною роздільної здатності об'єктиву.

Метод PAS дозволяє легко визначити границі серцевини й оболонки стандартного волокна. Одержуючи зображення по двох перпендикулярних осях можна досягти достатню якість позиціонування. Але у фотонно-кристалічних волокнах зображення повітряних отворів оболонки накладається на зображення серцевини (рис. 5), що заважає ідентифікувати серцевину візуально тільки по одержаному зображенню [2, 3].

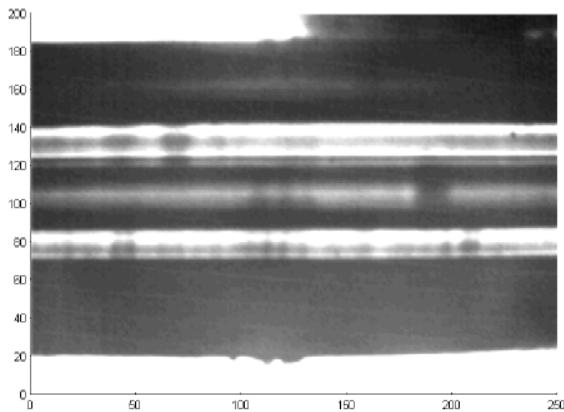


Рис. 5. Оптичне поле ФКВ при поперечному освітленні

Позиціонування ФКВ та стандартного оптичного волокна тільки по зовнішньому діаметру оболонки також ускладнено, внаслідок того, що стандартне одномодове волокно та ФКВ не обов'язково мають однакові діаметри. На рис. 6 представлений зварювальний пристрій Coringer AFS-48. Тут добре видно, що внаслідок великого діаметру використовуваного ФКВ частина зображення не вміщується на екрані апарату, який розрахований на роботу зі стандартними оптичними волокнами: одномодовими (ITU-TG.652) та багатомодовими (ITU-TG.651) діаметром 80...150 мкм.



Рис. 6. Зварювальний апарат Coringer AFS-48

## Висновки

Таким чином, метод оцінки втрат по осьовим зміщенням, який використовується в PAS системах, дає непряму оцінку затухання з деякою принциповою невизначеністю пов'язаною з узгодженням геометричних параметрів системи спостереження й оптичного волокна, а також внаслідок специфічної картини розподілу інтенсивності та відсутності явної серцевини у зображенні фотонно-кристалічного волокна. Тому даний метод гарантує лише граничну точність вимірів. В той же час метод оцінки по потужності випромінювання, що проходить, покладений в основу LID систем, забезпечує незалежність вимірювання втрат від зазначених параметрів. Однак він потребує коректування результатів вимірювання з урахуванням інтерференційних ефектів на кінцевих поверхнях волокон, що також не забезпечує абсолютно точного результату вимірювань.

Для контролю оптико-геометричних параметрів з'єднання фотонно-кристалічних волокон з урахуванням їх складної структури та особливостями виникнення втрат оптичного сигналу при розповсюдженні пропонується використовувати PAS систему, щоб отримати зображення розподілу інтенсивності поля при поперечному освітленні ФКВ. Використання розробленого автоконволюційного методу [2, 3] для обробки вимірюваного зображення дає можливість отримати координати осей серцевин ФКВ, що з'єднуються. Знаючи положення осей не складно внести корегуючі зміни в процес позиціонування. Запропонований метод забезпечує більш високу точність та надійність визначення просторового розташування ФКВ порівняно з іншими методами [4], не зважаючи на складне сформоване ними зображення оптичного поля. Абсолютна похибка контролю позиціонування фотонно-кристалічних волокон методом автоконволюції по зображенню, отриманому за допомогою системи керування зварювальним апаратом, виконаним на основі PAS, не перевищує 0,1 мкм, що для типових контрольованих значень зміщень відповідає величині відносної похибки менше 10%.

## ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Иванов, А.Б. Измерение потерь при термическом соединении оптических волокон [Текст] / А. Б. Иванов, Ю. Г. Скопин // Метрология и измерительная техника в связи. - 1998. - №4.
2. Филипенко, А. И. Метод определения пространственного расположения фотонно-кристаллических волокон в процессе соединения [Текст] / А. И. Филипенко, О. В. Сычева // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. - 2008. - №1 (28). - С. 56-63.
3. Filipenko, A. Monitoring of Photonic-Crystal Fibers Positioning in the Connection Process [Текст] / A. Filipenko, O. Sychova // Radioelectronics & Informatics. - 2008. - №1. - P. 78-83.
4. Filipenko, A. I. Research of autoconvolution method efficiency under control of photonic crystal fibers positioning [Текст] / A. I. Filipenko, O.V. Sychova // Proceedings - 10th International Conference on Laser and Fiber-Optical Networks Modeling (LFNM). - 2010. - №5624218. - P. 143-145