

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационния труд за придобиване на образователната и научна степен “доктор” по докторантската програма „Теоретични основи на комуникационната техника” към професионалното направление :Комуникационна и компютърна техника”

Автор на дисертационния труд: ас. инж. Жейно Иванов Жейнов

Тема на дисертационния труд: „Изследване на разпространението в многомодови оптични влакна чрез компютърно симулиране”

Рецензент: проф. д-р инж. Ервин Фердинандов

1. Актуалност на дисертационния труд

Добре известно е, че глобализацията на съвременната духовна и материална култура се базира на бързото и мащабно развитие на комуникационните системи и мрежи, които осъществяват висококачествено пренасяне на информационни потоци с разнообразно съдържание, с огромни плътности, с много големи скорости и на практически неограничени разстояния. Особено показателен е фактът, че над 80% от световните инвестиции в областта на комуникациите в последните две десетилетия отиват към **оптичните** комуникационни системи и мрежи (по данни на ITU).

Все по-широкото разпространение на оптичните комуникационни мрежи (ОКМ), изразяващо се във включване на многобройни крайни потребители (индивидуални или корпоративни), силно повишава интереса към **локалните** ОКМ, предназначени за решаване на проблема на последната миля (The Last Mile Problem -LMP) и е обект на концепцията за достъп до всеки конкретен абонат (Fiber To The Home).

Много важен е фактът, че изграждането на локалните ОКМ е тясно свързано с използването на **многомодови** оптични влакна. Причините за това са следните:

- Поради неголямата дължина на линиите (няколкостотин метра), енергийните загуби в тях са малки въпреки многомодовото разпространение, а обусловеното от модовата дисперсия разширяване на кодовите импулси на входа на фотодетектора не води до съществено ограничаване на скоростта на предаване на информацията (V_I); разбира се, при къси линии е намалено и негативното влияние на хроматичната дисперсия.

- Значително по-големите диаметри на сърцевините на многомодовите влакна (десетки m срещу единици m при одномодовите влакна) снижават изискванията към оптичните съединители и разклонители.

- Многомодовите оптични влакна дават възможности за създаване на различни пасивни и активни комуникационни звена с управляеми

характеристики; възможно е и използването на многомодови лазери и светодиоди.

- Използването на многомодови влакна в локалните ОКМ осигурява по-голяма механична здравина на линиите, както и по-ниска себестойност на оборудването и на строителните работи по инсталирането.

Като пример за **съвременния интерес към многомодовите оптични влакна** ще отбележа, че голямата международна фирма THORLABS произвежда многомодови влакна с диаметър на сърцевината и на обвивката $62,5 \mu m$ и $125 \mu m$, със затихване $0,6 dB/km$, с $V_l = 1 Gbit/s$ при дължина на линията $L = 500 m$ и с $V_l = 2,5 Gbit/s$ при $L = 200 m$ (тези данни са за дължина на вълната $= 1300 nm$, има и данни за $\lambda = 850 nm$). Фирменият проспект, който цитирам, е от **м. декември 2014 г.**

Представеният дисертационен труд съдържа изследвания, свързани със сложната научна проблематика на различните многомодови световоди, включително съществени количествени резултати за процесите на разпространението и за техните характеристики.

Въз основа на казаното дотук считам, че **актуалността** на този труд е **вън от съмнение**.

2. Компетентност на докторанта в областта на дисертационния труд

От обширните обзорни материали в дисертационния труд, от естеството на цитираните литературни източници и от броя им (145) се вижда, че докторантът познава **много добре** микровълновата електродинамика и теорията на световодните ефекти в оптичните влакна. От изложението на оригиналните глави проличава творческото и продуктивно използване на тези знания. Очевидно е и много високото равнище на математичната и компютърната ерудиция на докторанта.

3. Оценка на методичния подход на докторанта към решаването на дисертационните задачи

Методичният подход към решаването на дисертационните задачи е **замислен и организиран правилно**. Напълно вярно е становището, че уравненията на строгата теория на световодното разпространение изобщо и в частност в многомодовите влакна, далеч не винаги имат точни и явни аналитични решения. Поради това се налага да се приемат опростяващи допускания, чието отражение в крайния резултат е трудно прогнозируемо. От друга страна, избирането на подходящ числен метод и използването на съответен софтуерен инструментариум изисква съпоставяне на съображения за точност и стабилност на решенията в условията на конкретната задача.

Според мен, докторантът се е ориентирал успешно в тази многофакторна и деликатна (от гледна точка на евентуални грешки) ситуация. Възприетата от него методология и нейното използване, респ. получените с нея резултати, будят доверие.

4. Аналитична характеристика на дисертационния труд

Представеният дисертационен труд е нетрадиционен по замисъл и, като следствие, необичаен по характер на изложението. Докторантът не си е поставил една ограничена, но въпреки това напълно дисертабилна задача, напр. – да изследва само влиянието на конкретни физични процеси в преносната среда на цифровите влакнесто-оптични комуникационни системи (ЦВОКС) върху дадени качествени показатели на тези системи, примерно да изследва влиянието на видовете дисперсия върху V_l и върху вероятността за еднобитова грешка (BER). Целта на настоящата дисертация е поставена много по-общо и амбициозно и е достигната успешно.

Въз основа на вълновата електродинамична теория на оптичните световоди за най-сложния случай (за многомодово разпространение) и с използване на геометричната оптика, където това е допустимо, докторантът е изградил целесъобразно структурирани математични **модели** и ги е **надградил** със създадени от него **програми** за компютърно симулационно изследване на различни многомодови световодни конфигурации с различни параметри и с най-често срещаните радиални разпределения на показателите на пречупване. Поради своята висока степен на общност, тези модели и програми формират един много полезен **апарат за научни изследвания**, който може да бъде разширяван и допълван, доразвиван и видоизменян. Разбира се, този апарат включва като частен случай и едномодовото световодно разпространение. Наистина, едва ли има проблеми, процеси или ефекти в преносните среди на ЦВОКС, чието съпоставящо нататъшно изследване да не е възможно чрез директно прилагане или доразвиване на разработените в дисертацията модели и алгоритми.

Тук не бива да се забравя и фактът, че в много случаи директните (без симулации) аналитични изследвания не могат да доведат до количествено определени крайни резултати.

Ето два примера за **следващо използване** на развитата в дисертацията методология:

- Неизбежните нерегулярности по надлъжната ос на световода (флуктуации на молекулната плътност, случайни локални изменения на химичния състав на материала и флуктуации на формата на напречното сечение с технологичен произход, случайни или монтажни огъвания), които водят до разсейвания (на Релей и на Ми), или до отражение, обуславят изменение в модовия състав на лъчението и съответстващи енергийни загуби, радиални излъчвания, дисперсионни вариации, увеличавания на BER , Тези ефекти биха могли да бъдат оценявани количествено с помощта на разработения в дисертацията апарат за научно изследване на многомодовото вълноводно разпространение.

- Особено внимание заслужава и възможното използване на тъй изградените математични модели и на съответните симулационни алгоритми за изследване и структуриране на пасивни функционални звена в ЦВОКС

(например на филтри, състоящи се от известен брой въведени във влакното еднотипни нееднородности с модово съгласувани матрици на разсейване), както и на активни функционални звена в оптични комуникационни системи с открити преносни среди (например на антени с разклонени по зададени начини диаграми на насочено действие – ДНД чрез формиране на антенните апертури като открити напречни срезове на многомодовите оптични влакна).

Искам да отбележа и някои от **предимствата** на разработените от докторанта програми за симулационни изследвания.

В дисертацията е направено съпоставяне на авторската програма за анализ на модите в радиално-стъпално оптично влакно с комерсиалната програма Optifiber на фирмата Optiwave. От фиг. 2.3 до фиг. 2.10 и от Приложение 1 следва по-богатата информативност на авторската програма, например: Може да се задава напречно сечение на влакното на желано разстояние от началото на световода, в което да се определят полетата на линейно-поляризираните моди, да се отчитат константите им на разпространение, началните им амплитуди и фази. Избраното за визуализиране поле в посочено напречно сечение на световода се изобразява с помощта на 16-степенна цветова скала. Очертава се границата между сърцевината и обвивката на влакното. Чертаят се също радиалното изменение на избрана компонента на полето за въведен полярен ъгъл и ъгловата зависимост на тази компонента за въведено нормирано разстояние от оста на влакното. Могат да се чертаят и надлъжните компоненти на полетата на хибридните моди, както и големините на векторите на Пойнтинг. Авторската програма подрежда модите по нарастващите стойности на критичните им честоти и извежда точните разпространяващи се моди, чиито суми са еквивалентни на линейно-поляризираните такива.

Резултатите от симулационните изследвания са сравнявани с експериментални данни. Констатирани са много добри приближения.

Накрая на този раздел от рецензията ще посоча факта, че програмите на докторанта съдържат и някои процедури, които не се срещат в комерсиалните програми, например симулиранията и сравняванията на предавателните характеристики на микроструктурното многомодово влакно, показани в гл. 4 на дисертацията.

5. Научни и научно-приложни приноси на дисертационния труд

Дисертацията съдържа **безспорни** научни и научно-приложни приноси, които са изложени **обективно** в съответните претенции на докторанта. Тук ще представя приносните резултати в групиран вид, при което ще си позволя известно прередактиране.

- Въз основа на общата вълнова теория на диелектричните вълноводи е изграден **математичен модел** (с качеството на методика) за компютърно симулационно изследване на полетата на разпространяващите се моди в многомодово оптично влакно със **стъпално-радиален** профил на показателя на пречупване. С използване на този модел е създадена

програмна среда за симулационно изследване на компонентите на полетата на модите, както и на техните параметри (числови апертури, критични честоти, константи на разпространение). За типични входни данни са получени съответни крайни резултати.

- Посочените по-горе приноси резултати са получени (със същата изчерпателност и полезност) и за вълновото разпространение в многомодово оптично влакно с **градиентно-радиален** (по-конкретно - параболичен) профил на показателя на пречупване.

- Разработен е математичен модел, респективно методика, за компютърно симулационно изследване на влиянието на **рязко локализирано** по оста на разпространението **изменение на диаметъра** на многомодово оптично влакно. На базата на този модел е създаден **софтуер** за количествено определяне на полетата на разпространяващите се моди в околността на рязкото изменение на сечението в зависимост от параметрите на това изменение и от мястото му по надлъжната ос на световода.

- Предложена е **методика** (базирана на метода на Галеркин) за определяне на разпределението на полето, излъчено в **далечната зона на отворен срез** на многомодов световод със стъпално-радиален профил на показателя на пречупване. Разработен е и алгоритъм за решаване на **обратната задача** – определяне на амплитудно-фазовото разпределение на модите на оптичното поле в отворения срез, което ще обуслови в далечната зона излъчено поле със зададени разпределения на амплитудите и фазите. Създадена е **програмна среда** за компютърно симулационно получаване на числени решения на двете задачи.

- Изграден е “геометро-оптичен” математичен **модел** за опростено описание на модовото вълново разпространение в **микроструктурни** оптични влакна (Photonic Crystal Fiber - PCF), предназначен за определяне на енергийните загуби и дисперсията. Изграден е и математичен модел за описание на влиянието на макроогъвания (монтажни огъвания) върху загубите и дисперсията в зависимост от параметрите на влакното. На базата на тези модели е създаден **софтуер** за изчисляване на константите на разпространение, на затихването и дисперсията на модите в право и в огънато PCF със зададени параметри.

От гледна точка на изискванията към оформяне на рецензията, приносните резултати могат да се окачествят като разкриване с нови средства на съществени нови страни на съществуващи научни проблеми, предлагане на нови методи и разработване на нови модели за изследване, получаване на нови и на потвърдителни факти.

6. Преглед на публикациите по дисертационния труд. Оценка на личния дял на докторанта в приносните резултати

По темата на дисертацията са публикувани 11 работи, от които 5 доклада в национални научни конференции, сесии, или в сборници от трудове

на наши университети, един доклад в национална конференция с международно участие, два доклада в международни научни конференции в Чехия и 3 статии в наши списания.

В 4 публикации докторантът е единствен автор, в 3 – първи автор и в 4 – втори автор.

Като отчитам тези данни и като съпоставям тематичните насочености на отделните публикации с приносните резултати в дисертацията, стигам до извода, че личният дял на докторанта в тези резултати е **значителен, съществен и определящ**.

7. Използване на дисертационните резултати в научната и в социалната практика

Нямам сведения за използване или цитиране на дисертационните резултати.

8. Оценка на автореферата

Авторефератът е съставен в съответствие с изискванията и правилно отразява съдържанието и приносите на дисертацията.

9. Критични бележки и препоръки

- В изложението са допускани някои стилови и технически непълноти и неточности, които е добре да се избягват в следващи работи.

- Бих препоръчал публикуване на бъдещите научни и научно-приложни статии в реномирани международни специализирани списания, както и изнасяне на докладите на престижни международни форуми. Това ще даде възможност за по-широко запознаване на чуждестранната браншова научна общественост с резултатите от нататъшните изследвания на докторанта, за повече приложения и цитирания на тези резултати, за установяване на полезни контакти и евентуални сътрудничества с чуждестранни специалисти.

- Би било интересно, на базата на вероятностни математични модели да се разработят програми за симулационни изследвания на различни по произход и съвместно съществуващи случайни нееднородности по надлъжната ос на многомодовото оптично влакно с цел – количествено оценяване на тяхното влияние върху някои съществени качествени показатели на ЦВОКС, например на V_I и BER.

- Ще предложа на докторанта и създаване на програми за симулационно изследване на функционални звена, изградени с многомодови оптични влакна, като съединители, разклонители, филтри, усилватели... . Тези програми да се използват като фрагменти на софтуер за проектиране на локални мрежи за достъп, които решават LMP в сгради с много потребители или в производствени предприятия и различни учреждения.

- Би могло да се помисли и за насочване на генетичен алгоритъм към синтезиране на оптичното поле в отворен (в апертурен) срез на

многомодово влакно с оглед получаване на зададено ДНД в далечната зона (например за получаване на разклонено излъчване – с два или повече листа на ДНД).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дисертационният труд на тема „Изследване на разпространението в многомодови оптични влакна чрез компютърно симулиране” е на високо равнище. Той съдържа безспорни и значими научни и научно-приложни приноси в областта на цифровите влакнесто-оптични комуникационни системи и мрежи. Съществуват реални възможности за практическо използване на приносните резултати.

Докторантът се е изявил като много добър специалист по теоретична електродинамика и като високо ерудиран професионалист по компютърни симулационни изследвания на физични процеси.

Качествата на дисертационния труд отговарят на законовите изисквания към претендираната степен.

Убедено препоръчвам на почитаемото Научно жури да присъди образователната и научна степен „**доктор**” на ас. инж. **Жейно Иванов Жейнов**

11.08.2015 г.

Рецензент:

(Е. Фердинандов)