



**МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В.ЛОМОНОСОВА  
(МГУ)**

Ленинские горы, д. 1, Москва, ГСП-1, 119991  
Тел.: 939-10-00, факс: 939-01-26

*22.07.2016* № *908-16/013-0*

На № \_\_\_\_\_

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Проректор Московского  
Государственного  
Университета имени  
М.В. Ломоносова

Профессор

*А.А. Федянин*  
А.А. Федянин

2016 г.

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертационную работу Юшко Олеси Викторовны «Математическое моделирование солитонных оптических линий связи на основе новых форматов и технологий передачи данных», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Диссертация Олеси Викторовны Юшко посвящена разработке инструментария для моделирования распространения сигнала и оптимизации солитонных волоконно-оптических линий связи, а также разработке математических моделей и численных алгоритмов для поиска режимов передачи данных в многоядерных волокнах. В диссертации представлены результаты применения разработанного комплекса программ для исследования подавления флуктуаций положения и фазы солитонных импульсов, оптимизации параметров модуляции сигнала, изучения эффективности и производительности солитонных оптических когерентных линий связи и поиска стационарных решений системы уравнений, описывающей распространение импульсов в волокне центрально-симметричной структуры.

**Актуальность темы выполненной работы.** Актуальность диссертационной работы обусловлена продолжающимся ростом потребностей в величине пропускной способности волоконных линий связи, который вызван стремительным увеличением трафика. Наличие нелинейных ограничений в традиционных дисперсионных линиях связи приводит к существованию «нелинейного» предела скорости передачи

данных, что стимулирует новые исследования в области телекоммуникаций, направленные на преодоление этого ограничения. Привлечение математического моделирования в данных исследованиях позволяет экономить временные и финансовые ресурсы при разработке и оптимизации нового поколения линий связи.

**Содержание работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы и двух приложений. *Во введении* к диссертации обоснована актуальность работы, сформулированы основные цели и задачи диссертационной работы, перечислены положения, выносимые на защиту.

*В первой главе* описаны важнейшие этапы развития волоконно-оптических линий связи, даны ключевые определения. Представлены алгоритмы и модели, используемые для моделирования распространения сигнала в оптических линиях связи. Подробно изложены основные негативные эффекты, приводящие к деградации сигнала в традиционных линиях связи: дисперсионное уширение, нелинейные эффекты, взаимодействие сигнала и шума усиления. Показано, как нелинейные эффекты ограничивают увеличение спектральной эффективности традиционных линий связи. Далее автором изложены основные негативные эффекты солитонных оптических линий связи – межсолитонное взаимодействие, эффекты Гордона-Хауса и Гордона-Молленауэра. Кроме того, описаны перспективы применения многоядерных волокон для увеличения скорости передачи данных в оптических линиях связи.

*Во второй главе* выполнено исследование подавления фазовых и временных флуктуаций солитонных импульсов в оптических линиях связи. Подобные исследования уже проводились для солитонных линий связи с прямым детектированием сигнала. Однако когерентные солитонные линии связи в данном контексте не рассматривались. *В первом параграфе* исследовано применение цифровой обработки сигнала, которая впервые была рассмотрена в задачах подавления флуктуаций параметров солитона. Приведены результаты численных расчетов по оптимизации процедуры обратного распространения сигнала. *Во втором параграфе* в качестве метода подавления флуктуаций рассмотрена оптическая фильтрация. Представлены результаты численной оптимизации параметров фильтрации, а также сравнение эффективности применения методов обратного распространения сигнала и фильтрации в солитонных линиях связи. Проведена оценка дальности передачи информации в солитонных линиях связи с применением оптической фильтрации. *В параграфе 2.3* подведены итоги исследования.

*В третьей главе* представлены результаты численной оптимизации параметров модуляции сигнала в когерентных солитонных линиях связи для достижения максимальной спектральной эффективности. *В первом параграфе* представлены результаты численной оптимизации фазового формата модуляции. Даны рекомендации выбора ширины импульса и

ширины спектрального канала относительно значения символического интервала. *Во втором параграфе* рассмотрен комбинированный формат модуляции, когда для кодировки информации используется фаза и положение импульса на символическом интервале. Даны рекомендации выбора значений ширины импульса и спектрального канала, а также ширины защитного интервала. *В параграфе 3.3* представлены результаты сравнения спектральной эффективности и производительности солитонных и традиционных линий связи, использующих формат передачи данных Найквиста. *В параграфе 3.4* подведен итог исследования, проанализированы режимы распространения сигнала в солитонных оптических линиях связи и показано преимущество передачи данных с использованием солитонных технологий.

*В четвертой главе* представлены результаты разработки численного итерационного алгоритма для поиска стационарных решений системы уравнений, описывающей распространение электромагнитного поля в многоядерном волокне центрально-симметричной структуры. *В первом параграфе* найдены аналитические приближенные стационарные решения рассматриваемой системы уравнений: локализованное и распределенное. *Во втором параграфе* подробно изложен разработанный двухуровневый итерационный численный алгоритм поиска стационарных решений. Проведено качественное и количественное сравнение численного и аналитического решения, показана устойчивость локализованного по времени и пространству решения. *В параграфе 4.3* подведен итог исследования.

*В заключении* сформулированы основные результаты диссертационной работы. Список цитируемой литературы составляет 103 наименования, что свидетельствует о большом объеме работы, выполненной соискателем по изучению материала, относящегося к теме диссертации.

**Научная новизна** определяется тем, что впервые проведено исследование солитонных линий связи в сочетании с такими современными технологиями, как когерентное детектирование, спектральное уплотнение каналов, применение цифровой обработки сигнала, использование многоядерного волокна. Применение разработанного комплекса программ позволило провести оригинальные исследования и впервые представить следующие результаты:

- Результаты подавления флуктуаций положения и фазы солитонных импульсов при помощи процедуры обратного распространения сигнала. Результаты исследований демонстрируют, что применение процедуры обратного распространения сигнала на детекторе способно привести к значительному подавлению флуктуаций (до 40%). Было показано, что эффективность исследованного метода снижается при увеличении длины линий связи.

- Результаты сравнения эффективности подавления флуктуаций при помощи методов обратного распространения сигнала и оптической

фильтрации. Результаты демонстрируют, что на трансокеанских расстояниях более эффективным является применение оптической фильтрации, которое позволяет снизить флуктуации до 4-х раз.

- Результаты моделирования и оптимизации параметров фазовой и комбинированной модуляции сигнала в солитонных линиях связи. С использованием разработанного программного комплекса было показано, что спектральная эффективность оптических линий связи с применением солитонных технологий в сочетании с фазовой модуляцией сигнала достигает 2.4 бит/с/Гц, а в сочетании с комбинированным форматом модуляции – 3.1 бит/с/Гц.

- Результаты численного сравнения производительности солитонных и дисперсионных линий связи, показано, что применение солитонных технологий позволяет увеличить дальность или скорость передачи информации.

- Разработанный итерационный алгоритм поиска стационарных решений, который позволил найти устойчивое семейство солитонных решений для системы нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих распространение электромагнитного поля в многоядерном волокне центрально-симметричной структуры.

**Практическая ценность работы.** В диссертационной работе О.В. Юшко «Математическое моделирование солитонных оптических линий связи на основе новых форматов и технологий передачи данных» получен ряд новых интересных результатов. В связи с существованием потенциальных применений интересны результаты, относящиеся к оптимизации применения процедуры обратного распространения сигнала в солитонных оптических линиях связи и оптимизации параметров модуляции. Несомненно, важны исследования режимов распространения сигнала в многоядерных волокнах, поскольку пространственное уплотнение является одной из возможных технологий преодоления ограничений роста пропускной способности волоконно-оптических линий связи. Исследования проведены в рамках федерально-целевых программ и поддержаны стипендией президента РФ. Практическая значимость выполненных исследований подтверждается тем, что разработанный комплекс программ позволяет проводить дальнейшее численное моделирование и оптимизацию волоконно-оптических линий связи. Результаты и выводы диссертации могут быть использованы при разработке волоконно-оптических систем связи нового поколения.

**Публикации и соответствие автореферата диссертационной работе.** Основные результаты работы опубликованы в 11 научных работах, в том числе, 5 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Имеется два свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Автореферат полностью и точно отражает содержание диссертации.

### **Замечания по оформлению и содержанию диссертации.**

1) В работе используется термин «многоядерные» волокна, в то время как общепринятым русскоязычным термином является «многосердцевидные» волокна.

2) Одной из ключевых задач диссертационной работы является исследование спектральной эффективности солитонных когерентных линий связи. Однако в главе 2 после проведения исследования о подавлении фазовых и временных флуктуаций не приведена оценка ёмкости или спектральной эффективности оптимизированной солитонной линии связи.

3) В главе 4 проведен поиск стационарного решения для использования при передаче информации по оптоволоконным линиям связи. Также в диссертации отмечено, что современный формат передачи данных подразумевает использование фазы для кодировки информации. Тем не менее не проведено исследований устойчивости локализованного решения для импульсов на периферии, имеющих разные значения фазы.

**Заключение.** В целом диссертация Юшко О.В. содержит новые научные положения и имеет практическую значимость. Основные результаты проведенных исследований обсуждались на всероссийских и международных конференциях, и опубликованы в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК. Отмеченные замечания не являются существенными, носят рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертации Юшко О.В. Выводы диссертации достаточно обоснованы, обладают научной новизной и представляют теоретическую и практическую значимость.

Диссертация Юшко О.В. «Математическое моделирование солитонных оптических линий связи на основе новых форматов и технологий передачи данных» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является законченной научно-квалифицированной работой, которая выполнена на высоком уровне и содержит новые обоснованные научные результаты. Эти результаты могут быть использованы для решения задач из области телекоммуникационных технологий, а также прикладных задач по оптимизации передачи данных в волоконных линиях связи.

Содержание диссертационной работы полностью соответствует паспорту специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а также отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Соискатель Юшко Олеся Викторовна заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18.

Отзыв составил

доктор физ.-мат. наук, профессор  
07.07.2016

А.И. Федосеев

Email: [fedoseev362@mail.ru](mailto:fedoseev362@mail.ru), тел. +7 495 939 59 81

Подпись А.И. Федосеева заверяю,  
начальник отдела кадров

Л.К. Ковалева

Отзыв заслушан и утвержден на заседании кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем физического факультета МГУ (протокол № 10 от 01 июля 2016 г.).

Заместитель заведующего кафедрой оптики, спектроскопии и физики наносистем физического факультета МГУ

доктор физ.-мат. наук, профессор  
07.07.2016

П.В. Короленко

Email: [pvkorolenko@rambler.ru](mailto:pvkorolenko@rambler.ru), тел. +7 495 939 57 40

Подпись П.В. Короленко заверяю,  
начальник отдела кадров

Л.К. Ковалева

Ученый секретарь кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем физического факультета МГУ

кандидат физ.-мат. наук, доцент  
06.07.2016

О.М. Вохник

Email: [vokhnik@rambler.ru](mailto:vokhnik@rambler.ru), тел. +7 495 939 36 59

Подпись О.М. Вохник заверяю,  
начальник отдела кадров

Л.К. Ковалева