

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного учреждения науки «Вычислительный центр РАН имени А.А. Дородницына» на диссертационную работу **Романенко Татьяны Евгеньевны «Исследование математических моделей нелинейных оптических систем с запаздыванием»**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

В диссертации Романенко Т.Е. исследуются математические модели нелинейных оптических систем с нелокальной по пространству и времени обратной связью, описываемые параболическими функционально-дифференциальными уравнениями с запаздыванием и поворотом пространственного аргумента. Широкое распространение таких систем объясняется их способностью демонстрировать богатую пространственно-временную динамику, т.е. «маркировать» электромагнитные сигналы, что является важной технологической составляющей оптоволоконной связи. Кроме того, конфигурация обратной связи содержит в себе набор эффективных средств для управления этой динамикой, а это позволяет варьированием параметров добиться как генерации различных явлений структурообразования светового поля, так и наблюдать эффект подавления фазовых искажений. Так оптические вращающиеся волны в настоящее время вызывают большой интерес в задачах генерации динамических структур с заданными пространственно-временными характеристиками. Вопросы существования устойчивых вращающихся волн для случая оптических систем с запаздыванием пока недостаточно изучены, что объясняет *актуальность* разработки общего подхода к их построению и исследованию их устойчивости.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, приложения и библиографии. Общий объем диссертации 136 страниц.

Во введении приводится обзор работ по теме диссертации, обосновывается ее актуальность и формулируются цели работы. Показывается практическая значимость полученных результатов, и представляются выносимые на защиту научные положения.

В первой главе диссертационной работы предлагается подход к исследованию бегущих волн, возникающих в модели нелинейной оптической системы с запаздыванием и пространственным поворотом в случае тонкой кольцевой апертуры, основанный на переходе в движущуюся систему координат и сведении исходной периодической краевой задачи для параболического функционально-дифференциального уравнения к стационарной краевой задаче для обыкновенного дифференциального уравнения с отклоняющимся аргументом. Анализ свойств линеаризованного оператора соответствующей стационарной задачи позволяет доказать существование бифуркационных бегущих волн и получить их разложение по малому параметру стандартным методом проектирования решения на ядро оператора и его ортогональное дополнение. Приводятся результаты численного моделирования, полученные с помощью специально разработанного программного комплекса, демонстрирующие возникновение бегущих волн в численном эксперименте.

Во второй главе диссертационной работы описанный выше подход применяется при исследовании вращающихся волн в пространственно двумерной нелинейной оптической системе с круговой апертурой, что позволяет показать существование и единственность решений в виде вращающихся волн в круге и получить коэффициенты разложения полученного решения по малому параметру. Приведенные результаты численного моделирования, полученные с помощью программного комплекса, демонстрируют возникновение вращающихся волн.

Результаты третьей главы основаны на общем подходе к исследованию устойчивости бифуркационных решений параболических функционально-дифференциальных уравнений с помощью метода нормальных форм. Такой подход был предложен в статье Faria T. "Normal forms for semilinear functional differential equations in Banach spaces and applications" // *Discrete and Continuous Dynamical Systems*. 2001/ V.1. 7, N 1. P. 155-176. Романенко Т.Е. адаптирует этот метод на случай решений в виде бегущих волн в пространственно одномерной задаче с запаздыванием и пространственным поворотом в кольце и изящно применяет его к пространственно двумерной задаче при исследовании бифуркационных вращающихся волн, возникающих в нелинейных оптических системах с запаздыванием и поворотом углового аргумента в случае круговой апертуры. Для модели тонкого кольца условия устойчивости выражаются в явном виде через параметры исходной задачи. Для случая круга для нахождения условий устойчивости требуется решить ряд краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений. Проводится численное моделирование зон устойчивости для моделей нелинейных оптических систем в тонком кольце и круге и по результатам приведенных вычислительных экспериментов показывается существенность полученных условий устойчивости при выборе параметров нелинейной оптической системы для моделирования вращающихся волн.

В четвертой главе разрабатывается двухмодовая модель для аналитического и численного исследования эффекта подавления гармонических искажений в модели оптической системы в тонком кольцевом слое, описываемой параболическим функционально-дифференциальным уравнением с запаздыванием. Для выяснения границ применимости двухмодовой модели приводится сравнение полученных результатов с прямым численным моделированием для задачи в полной постановке и исследуется влияние величин запаздывания и поворота на качество подавления подобных искажений.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

В приложении А приводится описание общей схемы работы разработанного программного комплекса и функциональных возможностей составляющих его модулей,

предназначенных для численного моделирования задач для моделей в тонком кольцевом слое и круге и визуализации данных, получаемых в ходе вычислительного эксперимента.

Таким образом, в диссертационной работе предложен подход к описанию вращающихся волн в моделях нелинейных оптических систем с нелокальной обратной связью, который в дальнейшем может быть применен как при теоретическом и численном исследовании нелинейных оптических систем, так и при исследовании различных нелокальных моделей динамических систем на окружности или в круге с учетом запаздывания, возникающих в биологии, химии и других науках. Разработано двухмодовое приближение для аналитического подбора параметров пространственного поворота и запаздывания в контуре обратной связи для аналитического и численного моделирования эффекта подавления гармонических искажений.

Диссертационная работа выполнена *на высоком научном уровне*. В ней получили развитие как качественные и приближенные методы аналитического исследования математических моделей нелинейной оптики, так и современные компьютерные технологии вычислительного эксперимента.

Научные результаты являются *новыми, обоснованы* в виде строгих математических доказательств. Романенко Т.Е. является автором теоретических результатов, вычислительных алгоритмов, комплексов программ и результатов, полученных с помощью соответствующего численного моделирования. Три статьи, содержащие основные результаты диссертационной работы, опубликованы в журналах, включенных в перечень ВАК. Результаты других авторов, упомянутые в тексте диссертации, отмечены соответствующими ссылками. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

По диссертационной работе имеются следующие замечания.

1. В работе отсутствует описание физической составляющей исследуемой модели. Поэтому такие понятия, как апертура, видность интерференционной картины, фазовая модуляция и т.д. без их расшифровки затрудняют понимание сути излагаемой модели.
2. Данное замечание связано с предыдущим. Поскольку в уравнениях модели присутствует безразмерное время, то хотелось бы иметь представление о той характерной временной единице, в которой это время измеряется.
3. В четвертой главе, где идет речь о подавлении оптических искажений, следовало бы упомянуть и работы российских специалистов по адаптивной оптике, таких, как Потапов А.А., Пахомов А.А., Сафронов А.Н. Например, монографии «Новейшие методы обработки изображений» под ред. А.А.Потапова, М. Физматлит. 2008. 496 с., Сафронов А.Н. Теоретико-цифровая модель искажений оптической волны, распространяющейся в турбулентной среде. // Сообщения по прикладной математике. М.: ВЦ РАН. 2008. С.1-92.
4. В диссертации практически отсутствуют опечатки, но есть некоторые неточности. Так, на стр. 29 не определена функция F , на стр. 34 отсутствует обозначение \hat{w} для стационарного решения, на стр. 47 в первой строке слово *дифференциальный* можно опустить, поскольку оператор A является просто самосопряженным положительно определенным оператором, а дифференциальным он становится позже, когда общая теория применяется к конкретной модели, на стр. 52 следовало бы пояснить обозначения $span$ и $Proj$.

Высказанные замечания носят редакционный и рекомендательный характер и не влияют на положительную в целом оценку диссертационной работы.

Результаты диссертационной работы обсуждались на расширенном семинаре отдела математического моделирования систем проектирования ВЦ РАН.

Результаты и выводы диссертационной работы могут использоваться в таких научных организациях как МГУ, МФТИ, ВЦ РАН, ИПМ РАН, ИСА РАН, ИППИ РАН.

Диссертационная работа Т.Е. Романенко «Исследование математических моделей нелинейных оптических систем с запаздыванием» полностью соответствует специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к диссертационным работам, выдвигаемым на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Зав. сектором
отдела математического моделирования
систем проектирования ВЦ РАН
доктор физико-математических наук,
профессор

/А. А. Белолипецкий/

Сведения о ведущей организации

по диссертации Романенко Татьяны Евгеньевны на тему «**Исследование математических моделей нелинейных оптических систем с запаздыванием**», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Вычислительный центр имени А.А. Дородницына Российской академии наук»

119333, Российская Федерация,
г. Москва, ул. Вавилова, д. 40
телефон: +7-499-135-04-40
факс: +7-499-135-61-59
официальный веб-сайт: <http://www.ccas.ru/>
e-mail: wcan@ccas.ru

Список основных публикаций работников ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Belolipetskii A.A., Malinina E.A., Semenov K.O. Mathematical model of fuel layer degradation when the laser target is heated by thermal radiation in the reactor working chamber // *Comp. Math. and Modeling*. 2010. Vol. 21. № 1. P. 1- 17.
2. Белолипецкий А. А., Тер-Крикоров А. М. О решении одной сингулярно возмущенной начально-краевой задачи для линейного параболического уравнения. // *Труды МФТИ*, 2011, Том 3, №1, С.14-17.
3. Belolipetskii A.A., Semenov K.O. Studying a numerical model of filling two-layer porous shells with gas // *Moscow University Comp. Math. and Cybernetics*. 2011. Vol. 35. № 4. P. 151-158.
4. Safronov A.N. Projective speckle-interferometric recovering the distorted transatmospheric images of unknown temporally varying space object. // *Communications on applied mathematics*. M.: CC RAS. 2011. P.1-73.
5. Сафронов А.Н. // (Монография) Принципы проективной деконволюции в задачах восстановления мультиспектральных астрономических изображений. // М.: ВЦ РАН. 2013. - 198 С. (8.5 п. л.) ISBN 978-5-91601-088-6
6. Сафронов А.Н. // (Монография) Принципы проективной деконволюции в задачах восстановления мультиспектральных астрономических изображений. // М.: ВЦ РАН. 2013. - 198 С. (8.5 п. л.) ISBN 978-5-91601-088-6.

7. Belolipetskii A.A., Malinina E.A. Asymptotic Solution of a Nonlinear Initial–Boundary Value Problem for the Diffusion Equation with a Small Parameter Multiplying the Time Derivative// Computational Mathematics and Modeling: January 2014, Volume 25, Issue 1 (2014), Page 9-26. Springer Science+Buisness Media New-York DOI: 10.1007/s10598-013-9204-z .

8.Белоліпецкі А. А., Тер-Крыкорав А. М. Об одной сингулярно возмущенной смешанной задаче для линейного параболического уравнения с нелинейными краевыми условиями // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2014. Т. 54. №1. С. 80–88.

9.Safronov A.N. Adaptive interferometric blurless imaging the unknown exoatmospheric objects. // Communications on applied mathematics. М.: CC RAS. 2014. P.1-67.

ЗАВЕРЯЮ:

сведения о ведущей организации

Ученый секретарь ВЦ РАН

к.т.н.

Трусова Ю.О.