

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Будзинского Станислава Сергеевича
на тему: «Математическое моделирование волновых структур в
нелинейных оптических системах с запаздыванием и дифракцией»
по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ»

Актуальность диссертационной работы. Явления структурообразования встречаются во многих неравновесных физических, химических, биологических и экологических системах. Нелинейная оптика является одной из наиболее богатых областей на явления такого рода. Использование нелинейных оптических материалов, демонстрирующих бистабильность, в системах с оптическими резонаторами и контурами обратной связи приводит к возникновению широкого спектра различных пространственно-временных эффектов в поперечной к направлению распространения лазерного излучения плоскости. Наличие эффективных средств управления поперечной динамикой позволяет применять подобные системы для решения задач обработки информации. Таким образом, диссертация С. С. Будзинского является, безусловно, актуальной. Полученные в работе новые результаты представляют значимый вклад в математическое моделирование нелинейных оптических систем с контурами обратной связи и теоретическое исследование механизмов структурообразования в открытых оптических системах рассматриваемого класса. Автор продемонстрировал профессиональное владение как аналитическими, так и численными методами исследования нелинейных моделей. Сочетание этих методов для достижения поставленных целей исследования является сильной стороной работы.

Новизна результатов диссертационной работы. В диссертации изучена математическая модель оптической системы, учитывающая дифракцию и запаздывание. Такие модели рассматривались в литературе, однако в настоящей работе они подверглись полноценному математическому исследованию впервые. Построена конечномерная модель для описания волновых структур на окружности, основанная на явном вычислении нормальной формы бифуркации Андронова-Хопфа с $O(2)$ симметрией. Волны и спирали в тонком кольце предложено моделировать исходя из анализа предельной задачи на окружности. Разработанный в диссертации подход позволил получить автоволновые явления в вычислительных экспериментах, в частности, был обнаружен новый режим пульсирующих спиральных волн, что, лишний раз, подтверждает работоспособность предложенного подхода. Этот результат является важным достижением работы.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы. Достоверность результатов диссертации следует из строгости математических рассуждений и надёжности использованных численных методов. Выводы аналитического и численного исследований подтверждают друг друга. Результаты опубликованы в высокорейтинговых журналах и доложены на многих российских и международных конференциях и научных семинарах.

Краткое содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и одного приложения.

Во введении описаны устройство нелинейных оптических систем с контурами обратной связи и их возможные приложения. Представлен обзор исследований по математическому моделированию подобных систем. Сформулированы цели и задачи предпринятых исследований.

В первой главе исследованы периодические решения одномерной смешанной задачи для уравнения параболического типа с учетом запаздывания по времени источника (модель на окружности). В условиях

бифуркации Андронова—Хопфа доказано существование вращающихся волн. Устойчивость периодических решения изучена с помощью построения нормальной формы бифуркации при наличии группы симметрий $O(2)$ и явного вычисления ее коэффициентов. Представлен алгоритм проверки физических параметров системы на возможность допускать устойчивые стоячие или вращающиеся волны и найдены примеры соответствующих наборов параметров. Проведены численные эксперименты по моделированию стоячих и вращающихся волн на окружности. Показано, что они существуют и устойчивы при рассматриваемых значениях параметров.

Во второй главе изучены вращающиеся и стоячие волны в тонком кольце с условиями Неймана. Показано, что приближенная модель на основе нормальной формы $O(2)$ -эквивариантной бифуркации не может быть конструктивно использована для моделирования, поскольку отсутствует явное выражение коэффициентов. Сформулирован подход к моделированию волн, опирающийся на тонкость рассматриваемой области и переход к модели в области меньшей размерности. Предложен алгоритм для эффективного вычисления коэффициентов Фурье-Бесселя для функций в тонком кольце. Для моделирования двумерных волн использованы пересчитанные с учетом предельного перехода параметры из первой главы, что позволило получить в тонком кольце как вращающиеся, так и стоячие волны.

Третья глава посвящена моделированию спиральных волн в тонком кольце с граничными условиями, содержащими наклонную производную. Исследовано поведение собственных значений оператора Лапласа и построена предельная модель на окружности. Сформулирован численно-аналитический подход к моделированию спиральных волн, опирающийся на тонкость рассматриваемой области. Новый подход при использовании пересчитанных параметров из первой главы позволил обнаружить в численном эксперименте раскручивающиеся спиральные волны, а также новый режим структурообразования - пульсирующие спиральные волны.

В заключении приведены основные результаты работы.

В приложении описан комплекс программ, представлены разработанные модули и схема их взаимодействия.

Полный объем диссертации составляет 134 страницы с 20 рисунками и 4 таблицами. Список литературы содержит 182 наименования.

Автореферат в полной мере передает содержание диссертации.

Критические замечания по диссертационной работе. Текст диссертации написан понятным языком и ясно передает ход мыслей автора. Тем не менее имеется ряд замечаний.

1. При описании результатов качественного анализа уравнений нормальной формы автор ограничивается демонстрацией структуры их фазового пространства для двух наборов параметров задачи, характерных для устойчивых (неустойчивых) бегущих волн и неустойчивой (устойчивой) стоячей волны. Представляло бы интерес дополнить фазовые портреты параметрическим портретом, дающим представление о том, как может перестраиваться топологическая структура фазового пространства при изменении параметров полной модели, а именно, D , K , z_0 , T .

2. При исследовании методом вычислительного эксперимента существования и устойчивости бегущих и стоящих волн, ответвляющихся от пространственно-однородного состояния, автор ограничивается начальными условиями, близкими по своей структуре к устанавливающемуся автоволновому режиму. К сожалению, в работе не содержатся результаты исследования влияния формы малых начальных возмущений пространственно-однородного состояния (например, случайных возмущений) на длину устанавливающихся волн и скорость их распространения.

3. В тексте имеется ряд неудачных замечаний и словосочетаний: «мы не указываем начальное условие, поскольку нас интересуют периодические решения», стр. 17, 13 строка сверху, «бифуркационные волны», стр 9, 10 строка сверху, «... изучение больших нулей ...», стр. 86, 3 строка снизу, «... так же могут ...», стр. 92, строка 2 сверху.

4. Текст работы содержит ряд опечаток на стр. 41, 6 строка сверху, стр. 59, 9 строка сверху, стр. 65, 3 строка снизу, стр. 66, 7 строка снизу, стр. 69, 5 строка снизу, стр. 74, 7 строка сверху и 2 строка снизу. На рисунках 1.2-1.4 ось ординат обозначена «х», а должно быть « θ ».

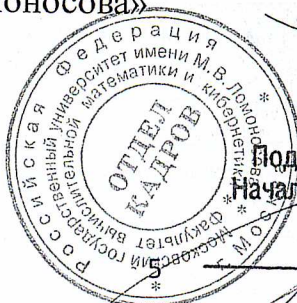
Приведенные замечания не влияют на достоверность полученных в диссертации результатов, их значимость и на общую положительную оценку работы.

Заключение. Диссертация является завершенным научным исследованием и отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М. В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова. Она оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.

Считаю, что соискатель Будзинский Станислав Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,
профессор кафедры вычислительных методов
факультета вычислительной математики и кибернетики
ФГБОУ ВО «Московский государственный
университет имени М.В. Ломоносова»
Еленин Георгией Георгиевич



09 октября 2020

Подпись удостоверяю
Начальник отдела кадров

В.Ю. Решетов

Контактные данные:

тел.: 7 (495) 939-21-95, e-mail: elenin2@rambler.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Адрес места работы:

119899, Россия, г. Москва, Ленинские горы, строение 52

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,

факультет вычислительной математики и кибернетики,

кафедра вычислительных методов

Тел.: 7 (495) 939-21-95; e-mail: vm@cs.msu.ru

Подпись профессора Г. Г. Еленина удостоверяю