

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Член-корр. РАН,

проф. А.М. Сергеев



«31» октября 2016 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию

Кузнецова Николая Владимировича

«Аналитико-численные методы исследования скрытых колебаний»,
представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 —
«Математическое моделирование, численные методы и комплексы
программ».

Представленная диссертационная работа посвящена развитию теории колебаний и ее применению для исследования известных проблем и изучения прикладных моделей.

Основным направлением исследования является развитие идей академика А.А. Андропова и его научной школы по описанию переходных процессов возникновения колебаний в динамических моделях механических и электрических систем и их обобщение и развитие на общий случай аттракторов динамических систем. С вычислительной точки зрения аттракторы в динамической системе можно разделить на два типа. Предельный цикл в модели Ван дер Поля, классические хаотические аттракторы в моделях Лоренца, Рёсслера и Чуа являются *самовозбуждающимися*: для их построения можно использовать численную процедуру, в которой траектория системы, выпущенная из малой окрестности

неустойчивого состояния равновесия, после переходного процесса притягивается к аттрактору и тем самым его визуализирует.

Существуют аттракторы другого типа — *скрытые* аттракторы, бассейн притяжения которых не пересекается с малыми окрестностями неустойчивых состояний равновесия. В этом случае определение начальных данных траектории, которая позволяет аналогично численно визуализировать скрытый аттрактор, требует разработки и применения специальных аналитико-численных методов.

В диссертационной работе автором развиты эффективные аналитические и численные методы анализа скрытых колебаний для различных классов систем.

Для двумерных гладких систем развивается метод Н.Н. Баутина, предложенный им для построения вложенных предельных циклов с малой амплитудой колебаний путем последовательного возмущения ляпуновских величин слабого (вырожденного) фокуса. Автором предложен эффективный метод вычисления символьных выражений ляпуновских величин в исходных координатах, без использования полярных координат или сведения к нормальным формам. Полученные выражения могут быть использованы как для определения качественного поведения траекторий в окрестности слабого фокуса (устойчивости/неустойчивости) так и для построения вложенных предельных циклов — здесь внутренние устойчивые предельные циклы будут являться скрытыми колебаниями согласно классификации, предложенной в работе.

Для анализа скрытых колебаний в многомерных системах с одной скалярной нелинейностью в работе развивается метод гармонической линеаризации и описывающих функций; для динамических систем общего вида развивается метод продолжения по параметру.

Предложенная в диссертации классификация аттракторов оказалась естественной не только при исследовании таких известных проблем, как 16-ая проблема Гильберта и проблемы Айзермана-Калмана, но и отразила трудности численного анализа различных прикладных нелинейных систем (в работе приведены соответствующие многочисленные примеры моделей: описывающих физические процессы, используемых в компьютерных архитектурах и телекоммуникациях, систем управления летательными аппаратами,

электромеханических систем и других). Эта классификация явилась катализатором недавнего открытия новых скрытых аттракторов в различных системах российскими и зарубежными авторами.

Одним из приложений, для которого в работе показаны трудности численного анализа скрытых колебаний, являются системы фазовой автоподстройки (ФАП). Возможность рождения скрытых колебаний в классической модели ФАП с пропорционально-интегрирующим фильтром была показана в работе Н.А. Губарь 1961 года. Позднее в работе Л.Н. Белюстиной и др. для такого типа ФАП была вычислена зависимость полосы захвата (интервал допустимых отклонений частот подстраиваемого генератора от входного сигнала) от параметров ФАП. В данной работе представлено дальнейшее развитие такого анализа и решена проблема Ф. Гарднера об определении полосы захвата без проскальзывания (динамической устойчивости) и предложен эффективный численный алгоритм ее вычисления. Для проведения анализа ФАП в работе развиваются методы строгого вывода математических моделей ФАП в пространстве фаз сигналов, обсуждаются проблемы классического инженерного анализа ФАП и предлагаются пути их преодоления. Для математической модели двухфазной ФАП в пространстве фаз сигналов проведено моделирование в пакетах Simulink и Spice и показана трудность выявления скрытых колебаний. Эти результаты могут использоваться компаниями разработчиками ФАП.

Важной числовой характеристикой аттракторов является их хаусдорфова размерность. Однако для произвольного множества вычисление хаусдорфовой размерности часто является сложной вычислительной задачей. Предложенная Дж. Капланом и Дж. Йорком концепция ляпуновской размерности и результаты А. Дуади и Дж. Оэстерле позволяют эффективно оценивать сверху размерность Хаусдорфа. Наряду с численными методами определения ляпуновской размерности Г.А. Леоновым был предложен эффективный аналитический подход к оцениванию ляпуновской размерности, основанный на применении прямого метода Ляпунова. В диссертации автором проведено строгое обоснование метода Леонова, основанное на доказательстве инвариантности ляпуновской размерности аттракторов относительно диффеоморфизмов, и получены точные формулы

ляпуновской размерности для ряда аттракторов известных систем. Также в работе реализованы программные алгоритмы вычисления ляпуновской размерности.

По тексту диссертации можно сделать ряд замечаний:

1. В главе 1 диссертации приведены различные примеры скрытых аттракторов в динамических системах. Однако для ряда аттракторов не указаны методы их обнаружения и начальные данные для их локализации.
2. При вычислении ляпуновских величин слабого (вырожденного) фокуса автор рассматривает систему с приведенной к диагональному виду линейной частью (система (1.31)) и коэффициенты исходной части линейной системы (формула (1.30)) не входят в получаемые автором символьные выражения для ляпуновских величин, что усложняет их дальнейшее применение для анализа реальных систем общего вида.
3. В работе представлено применение разработанного алгоритма для определения полосы захвата без проскальзывания двумерной модели ФАП, но не проведено сравнение полученных результатов с результатами Белюстиной о полосе захвата (т.е. не показано насколько уменьшился диапазон допустимых отклонений частот).
4. Сравнение полученных в работе значений ляпуновской размерности с хаусдорфовой размерностью проведено только для системы Энона, для остальных систем такое сравнение не приведено.
5. В диссертации не приведен обзор стандартных программных средств для вычисления ляпуновских показателей динамических систем.
6. В диссертации встречается нестрогое и некорректное употребление научных терминов. Например, в первом предложении Введения "траектории притягиваются к колебанию", тогда как траектории - это линии в фазовом пространстве, а колебание - физический процесс.

Вышесказанные замечания носят частный характер и не умаляют достоинства работы.

Диссертация соответствует специальности 05.13.18 — математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Автореферат и публикации правильно отражают содержание диссертации.

Диссертация «Аналитико-численные методы исследования скрытых колебаний» удовлетворяет всем требованиям действующего Положения «О присуждении учёных степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а её автор Кузнецов Николай Владимирович заслуживает присуждения искомой степени по специальности: 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв составил:

д. ф.-м. н., проф., зав. отделом
Нелинейной динамики ИПФ РАН
Адрес: 603950, г. Нижний Новгород,
ул. Ульянова, 46.



Некоркин Владимир Исаакович

Тел.: (831) 436 72 91

E-mail: vnekorkin@neuron.appl.sci-nnov.ru

Отзыв заслушан и одобрен на заседании научного семинара отдела Нелинейной динамики (протокол № 7 от 31 октября 2016 года).

Секретарь научного семинара,
к.ф.-м.н., с.н.с.



Клиньшов Владимир Викторович