

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Никульчева Евгения Витальевича  
по диссертационной работе Юлии Сергеевны Тимошенковой  
на тему: «Разработка методики интеграции формальных методов прогнозирования  
временных рядов и метода ассилияции данных», представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ,  
управление и обработка информации, статистика.

### 1. Оценка актуальность темы исследования

Актуальность тема диссертации не вызывает сомнений. Моделирование динамических систем является основой, классической задачей системного анализа. Согласно большой российской энциклопедии, динамическая система представляет собой математическую модель эволюции реальной системы, состояние которой в любой момент времени однозначно определяется ее начальным состоянием. Построение прогнозных моделей динамических систем является основой для анализа, управления и принятия решений в различных прикладных и фундаментальных исследованиях. В настоящее время сформировался широкий спектр методов моделирования от многослойных и многоэтапных методов с машинным обучением до методов, основанных на выявлении скрытых аттракторов. Однако для практического использования в системах анализа, управления или принятия решений исследователю часто сложно сориентироваться или перебрать весь спектр, современных, и не очень, моделей. В этих условиях формирование комплексной методики для решения вполне конкретных задач, временных рядов определенного заданного вида, является важной и актуальной задачей.

Представленная работа Ю.С. Тимошенковой направлена на создание интегральной методики создания прогнозных моделей динамических систем, дающей в конечном итоге конечный алгоритмический инструмент для прогнозирования динамики. Решение задач моделирования в системном анализе сильно зависит от конкретного опыта исследователей, от степени владения теми или иными программными или математическими инструментами и способами моделирования или решения дифференциальных или конечно-разностными уравнениями, а в случае с распределенными системами набором верных вычислительных методов для решения формальных задач. Как справедливо писал Льюнг [Л. Льюнг. Идентификация систем: Теория для использования. М., 1991] процесс моделирования плохо формализуется, и остается искусством конкретного человека. Было бы хорошо, чтобы для моделируемой системы, исследовав на какие-то конкретные характеристики временного ряда, можно поставить в соответствие конечный, сходящийся алгоритм решения задачи (построения прогнозной модели, эволюционной модели, типа описания и т. д.). В итоге, выбранный алгоритм, состоящий из известных, хорошо формализуемых и вычислительно-надежных методов, давал на выходе адекватную исходному ряду модель или прогнозную модель с заданной точностью, осуществляющий прогноз на заданный горизонт. Именно такой алгоритм для выбранного вида моделей и строит автор диссертации, соединяя, как следуют из темы, выбранные формальные методы прогнозирования временных рядов и метод ассилияции данных. Таким образом, диссертационное исследование Ю.С. Тимошенковой выполнено на актуальную тему, обладает новизной и имеет важное научно-практическое значение.

## **2. Оценка научной новизна полученных результатов, обоснованность и достоверность сформулированных в диссертации научных положений и выводов**

Рассмотрим заявленные в работе новые научные положения подробно.

*«1. Обоснование возможности интеграции формальных методов прогнозирования ВР временным рядом, порожденных ДС, описываемыми феноменологическими моделями, и метода DA.»*

В отличие от заголовка и цели работы, здесь используется термин «феноменологические модели». Конечно, соглашусь с автором, новый тип подхода может выделять класс моделей, с которыми предлагаемое решение совместимо, и применение которых является эффективным. Для однозначной интерпретации термина следует не только вести в широкий научный системного анализа класс моделей динамических систем, но и все же потрудиться встроить предлагаемый класс в существующую классификацию. Непонятно, почему автор разделяет динамические модели на эволюционные модели и феноменологические модели, построенные по экспериментальным данным, как бы не относящиеся к физике изучаемого процесса. Есть, и развиваются методы построения эволюционных моделей по экспериментальным данным. Сюда, например, можно отнести, например весь пул методов реконструкции аттрактора с последующим описанием в виде реконструированных дифференциальных уравнений [см. напр. Никульчев Е.В. Геометрический подход к моделированию нелинейных систем по экспериментальным данным. М., 2007] или реконструированных стохастических моделей, или в форме рядов или функциональных разложений. Это модели, по классификации автора являются «феноменологическими моделями», но они соответствуют «физическими моделям», фазовым портретам, наблюдаемым в динамических системах. Существует также классическая в системном анализе классификация на внутренние и внешние модели [см. Дж. Касти. Большие системы: сложность, связность, катастрофы. М., 1982]. Здесь, под внешними моделями понимаются такие модели, которые строятся на основании только входных и выходных данных, считая систему черным ящиком, которая только генерирует выходные процессы. Внешние модели в этой терминологии, это модели в форме функциональных разложений, рядов и других видов, тоже «феноменологические модели», не связанные логически с природой описываемой системы. В общем, на мой взгляд, автор, вводя новый для системного анализа термин, должен был потратить более усилий для его обоснования и использовать больший набор источников для построения предложенной классификацией.

По своей сути положение 1 может быть объединено со 2-м в единый результат, имеющий научную новизну.

*«2. Разработке методики интеграции формальных методов прогнозирования ВР в метод DA метод ассиляции данных»*

Второй пункт совместно с первым дают основной научный результат диссертации. Действительно, для рассматриваемого, хотя и не очень четко сформулированного, но на интуитивном понятном типе временного ряда, предложен конструктивный, применимый в конкретных условиях, алгоритм решения задачи построения прогнозных моделей. Алгоритм, названный «методика» четко и последовательно изложен в работе, его обоснование коррект-

но и способы применения в качестве инструмента моделирования вполне ясны из диссертации.

*«3. Обоснование выбора метрик и набора показателей, обеспечивающих количественную оценку качества прогнозирования ВР».*

Для предложенной методики важно сформулировать критерии оценки качества моделирования, в данном случае, качества прогноза. В работе введены и обоснован набор вычислимых показателей, дающих качественную оценку применения разработанной методики.

Достоверность полученных результатов, научных положений и выводов, изложенных в работе, подтверждается использованием известных математических методов, адекватной постановке цели и задач исследования, а также их согласованностью с результатами, полученными другими авторами. Корректность работы разработанного автором программного комплекса подтверждается использованием современных методов и средств при проектировании, разработке и тестировании программного комплекса. На разработанный программный комплекс автором работы получено 3 свидетельства о регистрации программ.

### **3. Практическая значимость результатов диссертации**

Практическая значимость подтверждена внедрением полученных результатов внедрены в ООО «Эйрбэйс» и ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого президента России Б.Н. Ельцина».

Тимошенковой Ю.С. был разработан программный комплекс «Прогнозирование временных рядов», в котором реализованы описанные формальные методы прогнозирования временных рядов, метод асимиляции данных и разработанная методика.

### **4. Оценка содержания диссертации и её оформления**

Диссертационная работа содержит 146 страниц основного текста. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, 2 приложения.

В **первой главе** представлен авторский обзор состояния предметной области. Представленный во введении (состояние проблемы) и первой главе обзор амбивалентное впечатление. С одной стороны — автор начинает обзор издалека (во введении) «Начало разработки формальных методов прогнозирования ВР датируется 1910 г.», с другой — совсем нет моделей динамических систем и вообще вклада классиков моделирования динамических систем таких как А.А. Андронова, Л.С. Понтрягина, и более современных Л.П. Шильникова. Возможно, автор их работы относит к нерассматриваемому в диссертации классу динамических моделей. Но в диссертации нет и робастных моделей, которые ориентированы, в том числе и на практику прогнозирования. Не будут лишним сообщить автору, что, например прогнозные модели в системе MATLAB находятся в Robust Control Toolbox (автор А.С. Немировский). Разработку теории и применения прогнозных моделей на основе робастного подхода многие годы развиваются на факультете ПМ-ПУ СбГУ (Е.В. Веремей, М. В. Сотникова). Кроме того, грубые и робастные модели имеют большое значение для прогнозирования финансовых временных рядов, поскольку позволяют на макроуровне изучать происходящие процессы. Можно упомянуть, что грубые и робастные модели систем соответствуют классической теории динамических систем [напр. R. Hesse, A. Neamtu, Global solutions and random

dynamical systems for rough evolution equations // Discrete & Continuous Dynamical Systems, Series B, 2020, 25, pp. 2723–2748.]. Надеюсь, в будущих исследованиях автор диссертации будет не столь категоричен в разделении методов на два типа – пригодные и непригодные.

**Вторая глава** посвящена обоснованию необходимости разработки методики интеграции формальных методов прогнозирования и метода ассилияции данных. В главе подробно описан алгоритм предложенной методики, представлены основные формулы и способы их расчетов для модельных временных рядов. Есть небольшое терминологическое замечание. Автор в автореферате использует формулировку «прогнозирования координат аттрактора Лоренца». Аттрактор — это притягивающее множество фазовых траекторий диссипативных динамических систем. Странный аттрактор, к которым относится аттрактор Лоренца, это притягивающее множество, состоящее из неустойчивых траекторий. В работе рассматриваются временные ряды, порожденные системой Лоренца. В самом тексте диссертации, в отличии от автореферата, более корректно написано «СДУ Лоренца».

В **третьей главе** описаны инструменты, выбранные автором для разработки программного комплекса. Подробно описана структура программного комплекса. Представлен графический интерфейс пользователя программным комплексом.

**Четвертая глава** содержит результаты апробации разработанной методики на примере реальных временных рядов, описывается метрика, которая позволяет адекватно количественно оценить точность прогнозирования с использованием методики. В рамках апробации методики представлены результаты и сравнительный анализ при использовании в методики интеграции всех описанных формальных методов.

## 5. Замечания и вопросы по диссертации

Вместе с этим следует отметить некоторые замечания и вопросы по содержанию диссертационной работы:

1. В работе присутствуют одновременно большое количество сокращений на русском и английском языке. Например, в п. 2 научной присутствует фраза «Разработке формальных методов прогнозирования ВР в метод DA», здесь ВР –временные ряды, а DA — ассилияции данных. Такое билингва сокращения в одном предложении существенно увеличивает время прочтения работы.

2. Разнообразие примеров из прикладных разных областей, на мой взгляд, идет не на пользу автору. У каждой из рассматриваемой в работе областей — от систем с хаотической динамикой, до финансовых временных рядов есть свои особенности, а главное – цели моделирования. Моделирование системы Лоренца должно не только сопровождаться адекватным временным рядом, но и собственно качественным анализом аттрактором системы (анализ топологической эквивалентности фазовых портретов исходной и построенных моделей), финансовые временные ряды требует в значительной степени робастных моделей, а не только суперточных прогнозов и т. д. Следовало бы уделить больше внимания характеристикам временных рядов, для которых предложенная в работе методика моделирования дает наибольший эффект в смысле заданных критериев качества.

## **6. Общая характеристика работы**

Исследования проведены в значительном объеме, логически выстроены, включают как теоретические аспекты, так и экспериментальную проверку.

В целом диссертационная работа Юлии Сергеевны Тимошенковой хорошо и логично структурирована, соответствует требованиям, предъявляемым к научным работам. Иллюстрации выполнены на высоком научном и оформительском уровне. Автореферат соответствует диссертации.

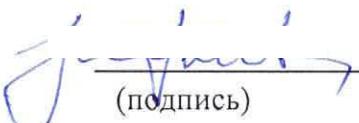
## **7. Заключение по работе**

Оценивая работу в целом, считаю, что диссертация Юлии Сергеевны Тимошенковой «Разработка методики интеграции формальных методов прогнозирования временных рядов и метода асимиляции данных» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные научно-технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие методов моделирования динамических систем по временным рядам.

Исследовательская работа изложена грамотным научно-техническим языком, в полной мере отвечает требованиям по актуальности, научной новизне, практической значимости, личному вкладу автора, отражению результатов в публикациях, а также полностью соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ и специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика. Автор диссертации Тимошенкова Юлия Сергеевна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Официальный оппонент:

Д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры КБ-14  
«Цифровых технологий обработки данных»  
Института кибербезопасности и цифровых технологий,  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«МИРЭА – Российский технологический университет»,

 → 09.11.22 Никульчев Евгений Витальевич  
(подпись) (дата)

Тел.: +7 (499) 215-65-65

e-mail: nikulchev@mail.ru

Адрес: 119454 г. Москва, проспект Вернадского, д. 78

