

**ОАО «ИНСТИТУТ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
имени С. А. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»**

119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинский проспект, 51 (для телеграмм - Москва-296, ВВЧТЕХ) тел.:(+ 495) 649-12-70, факс:649-12-75, www.ipmce.ru, эл. почта: info@ipmce.ru ОКПО 07516860 ОГРН 1097746419979, ИНН/КПП 7736605544/773601001

Экз. № 2

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель по научной работе гендиректора  
Института точной механики и  
вычислительной техники им. С. А. Лебедева  
Российской академии наук

заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор



Д. А. Ловцов

« 7 » января 2015 г.

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертационную работу Мишина Максима Юрьевича на тему:  
«Математическое моделирование многоцелевых систем с гистерезисными характеристиками», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

***Актуальность темы исследования***

Нелинейные зависимости гистерезисной природы довольно часто проявляются в различных естественнонаучных областях. При этом носители гистерезисных явлений, как правило, рассматриваются не изолированно, а как составные части сложных систем (в частности, именно такая ситуация возникает в системах автоматического регулирования, обратная связь которых включает гистерезисное звено, в экономических системах, отдельные элементы которых демонстрируют гистерезисное поведение и др.). Формальное описание динамики таких систем обычно представляется в виде операторно-дифференциальных уравнений, правые части которых включают нелинейности, порождённые операторами гистерезисного типа. Такие системы имеют ряд специфических особенностей: негладкость гистерезисных операторов, фазовые пространства таких систем включают в себя пространства состояний соответствующих гистерезисных нелинейностей и в общем случае не обладают линейной структурой и др.

Задачи оптимизации функционирования сложных систем, содержащих гистерезисные звенья, составляют в настоящее время особый класс. Методы решения этих задач разработаны недостаточно и им посвящено немного работ. При этом класс задач связанный с моделированием динамики систем с гистерезисом, функционирующих в условиях конкуренции к настоящему времени

совершенно не исследован. В связи с этим тема диссертации представляется актуальной.

### ***Общая характеристика работы***

По теме диссертации опубликовано 11 работ, 3 из которых – статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК; 7 – публикации, приравненные к опубликованным работам, отражающим основные научные результаты диссертации: статьи в научных изданиях, материалы научных докладов на международных и всероссийских конференциях; программа для ЭВМ. Работа изложена на 100 страницах и включает введение, четыре главы, заключение, приложение и список литературы (101 наименование).

Научная задача работы состоит в исследовании динамики классов оптимизационных моделей систем с гистерезисными свойствами преимущественно из экономической предметной области. При этом цель работы заключается в повышении качества функционирования многоцелевых систем, показатели которых (прибыль на конечном временном интервале) формализуются в виде набора интегральных функционалов с ядрами, содержащими операторные гистерезисные нелинейности.

В диссертации используется операторная трактовка гистерезисных нелинейностей: неидеального реле, преобразователя ПреЙзаха, S-преобразователя. В работе предлагается модифицированная модель ценообразования, описываемая в режиме непрерывного времени двумя дифференциальными уравнениями, одно из которых соответствует входно-выходным соответствиям S-преобразователя. Далее эта модель встраивается в задачу об оптимизации функционирования производственной системы. Поиск оптимального режима осуществляется с помощью принципа максимума. Прямая и сопряженная системы совместно решались итерационными численными методами.

Исследуется дискретная динамическая модель, содержащая гистерезисные нелинейности. Эта модель является обобщением классических моделей ценообразования – паутинообразной модели, модели Вальраса. Изучаются свойства динамики предложенной модели – устойчивость неподвижных точек, находятся бифуркационные значения параметров.

В четвертой главе автор рассматривает модели многоцелевых динамических систем, описывающих конкуренцию в условиях гистерезисного поведения отдельных звеньев. Механизм конкуренции описывается в терминах дифференциальной связи между ядрами целевых функционалов, определяющих выигрыш каждого из конкурентов. В силу существенной нелинейности рассматриваемой задачи ее решение находилось численными методами. На модельных примерах продемонстрирована эффективность предложенной методики анализа многоцелевых динамических систем с гистерезисом.

### ***Научная новизна исследований и полученных результатов***

В работе лично автором получен ряд новых научных результатов, позволяющих классифицировать её как законченное научное исследование:

*а) в области математического моделирования:*

1. Модифицирована модель равновесной динамики дискретных систем с гистерезисными свойствами;

2. Предложен способ исследования моделей с гистерезисными звеньями на основе принципа оптимального управления.

Первый из них позволит оценивать будущие значения цены в условиях ее гистерезисного (в зависимости от спроса) поведения, второй – является основой для разработки оптимальной, с точки зрения достижения максимальной прибыли производственной стратегии.

*б) в области численных методов:*

3. Синтезирована методика численного анализа многокритериальных оптимизационных динамических задач, включая задачи с функционалами, содержащими операторные гистерезисные нелинейности;

4. Разработан алгоритм оптимального конкурентного функционирования систем, содержащих звенья гистерезисной природы на примере оптимизации стратегий экономических агентов с учетом гистерезисных свойств.

Эти результаты позволяют производить расчеты оптимальной, в рамках сформулированного критерия, выражающего прибыль производителя в условиях конкуренции, производственно-ценовой стратегии.

*в) в области разработки комплексов программ:*

5. Разработан комплекс программ реализующий модель равновесной динамики систем с гистерезисными свойствами, позволяющий строить оптимальную производственную стратегию в условиях гистерезисного ценообразования и оптимизировать поведение производителей в условиях гистерезисного отношения потребителей к товарам в условиях конкуренции.

Комплекс программ представляет собой инструмент численного анализа исследования моделей многокритериальных динамических задач с гистерезисными нелинейностями.

Основные формально-логические утверждения диссертации доказаны с надлежащей полнотой с использованием современного математического аппарата нелинейного анализа, численных методов, качественной теории дифференциальных уравнений и операторной теории гистерезиса. Пункты 1), 3) научной новизны соответствуют п. 1 – «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений» паспорта специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», пункты 1) - 3) соответствуют п. 2 – «Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей», пункт 4) соответствует п. 5 – «Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента», пункт 5) соответствуют п. 6 – «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента».

#### ***Обоснованность и достоверность научных положений и выводов***

Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации, вытекает из строгости предположений, положенных в основу разработанных математических моделей, проведенного тестирования соответствующих программных решений, а так же практической реализации предлагаемых методов и решений. Кроме того, следует отметить, что полученные

автором результаты прошли апробацию на многочисленных международных и национальных профильных конференциях.

### ***Практическая значимость результатов работы для науки и производства***

Результаты работы могут найти практическое применение в области численного анализа систем, математические модели которых сводятся к системам дифференциальных уравнений с гистерезисными нелинейностями. Диссертационная работа содержит достаточное количество убедительных примеров из экономической предметной области. В частности, при оптимизации функционирования ряда экономических систем приходится учитывать их гистерезисные свойства. Полученные в работе результаты в этом направлении, по сути, представляют собой готовую методику оптимизации класса систем с гистерезисными свойствами и, что особенно важно, позволяют учитывать конкуренцию.

### ***Рекомендации по применению результатов***

Результаты диссертационной работы М.Ю. Мишина применимы в научных и практических исследованиях ИТМиВТ РАН, ИПУ РАН, ИППИ РАН, а также в учебной и научной работе Санкт-Петербургского, Самарского и Воронежского государственных университетов.

### ***Недостатки и замечания***

К недостаткам и замечаниям работы можно отнести следующие:

1. Задача о равновесной динамике (глава 3) решена лишь для узкого класса гистерезисных нелинейностей - преобразователей Прейсаха, носитель меры пространства состояний которого сосредоточен в треугольнике. Равновесные решения данной задачи существенным образом зависят от структуры пространства состояний соответствующего преобразователя, поэтому в диссертации целесообразно было бы исследовать эту зависимость.

2. Решения систем дифференциальных уравнений глав 2 и 4 были получены итерационными методами. По контексту понятно, что если функции, полученные на очередной итерации, не сильно меняются по сравнению с предыдущей, то они объявляются решениями, что вполне справедливо, однако, желательно было бы привести априорные оценки точности полученных решений.

3. В четвертой главе используются одинаковые обозначения для различных переменных, что, естественно, затрудняет восприятие материала.

4. Результаты численных экспериментов (глава 4) желательно было бы представить в более развернутой форме, также хотелось бы видеть более детальное исследование решения многоцелевой задачи от параметров. Также была бы желательна количественная оценка учета гистерезисных свойств в реальных экономических системах.

Вместе с тем указанные недостатки и замечания не снижают квалификационного уровня диссертационной работы.

### **ВЫВОД**

Диссертационная работа Мишина Максима Юрьевича на тему: «Модели стабилизации и оптимального функционирования систем с гистерезисными нелинейностями» представляет собой законченную научную квалификационную

работу, содержащую решение актуальной *научной задачи* исследования динамики классов оптимизационных моделей сложных многоцелевых систем с гистерезисными свойствами из экономической предметной области *на основе* разработанного автором формально-математического аппарата. Работа имеет теоретико-прикладной характер, направлена на совершенствование реальных систем экономического и др. характера, удовлетворяет требованиям Положения (в редакции, утвержденной правительством РФ от 24 сентября 2013 г. № 842) "О порядке присуждения ученых степеней" к кандидатским диссертациям, а её автор, Мишин Максим Юрьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Отзыв рассмотрен и утверждён на заседании Научно-технического совета ОАО «Институт точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева Российской академии наук» 20 января 2015 г. (протокол № 1).

Ведущий научный сотрудник ИТМиВТ  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

А. В. Лобан

Ведущий научный сотрудник ИТМиВТ  
кандидат технических наук, доцент

А. Б. Ермолаева

« 20 » января 2015 г.

Подпись	Лобан А.В.
	Ермолаева А.Б.
	20 01 2015