

## **Отзыв официального оппонента**

на диссертацию Мезала Ясира Али Мезала «Квазилинейный анализ дискретных моделей нелинейной динамики (временных рядов)», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информатика, информационно-вычислительное обеспечение)

### **Актуальность темы**

В диссертационной работе М. Я. Али Мезала рассмотрены методы идентификации моделей и прогнозирования процессов и явлений, представленных в виде временных рядов. Значимость результатов обусловлена решением актуальных задач прогнозирования развивающихся процессов и идентификации систем с применением современного математического аппарата. Учет нелинейности в рассматриваемых дискретных моделях даёт основание для получения данных в характеристике анализируемых процессов, позволяющих увеличить горизонт состоятельного прогнозирования. Это помогает создать общую картину без очевидных расхождений с действительной ситуацией и жестких ограничений по области использования, что свойственно для линейных моделей.

### **Научная новизна исследований и основных результатов**

К новым научным результатам, являющимся заслугой автора диссертации, можно отнести:

1. В области системного анализа, управления и обработки информации:
  - разработан на основе идентификации разностного квазилинейного уравнения по наблюдаемым отсчетам (т.е. по временному ряду) метод квазилинейного детерминированного анализа моделей нелинейной динамики для решения проблем обработки информации, идентификации и прогнозирования развивающихся процессов, представленных временными рядами.

2. В области математического моделирования:

- разработан метод математического моделирования временных рядов на основе общей разностной схемы для дифференциальных уравнений, описывающих динамику процесса,
- разработанный метод квазилинейного детерминированного анализа применен для исследования моделей делового цикла, моделей процессов трансфера инноваций и результатов ретро-прогноза развития индекса фондового рынка Ирака,
- исследованы отношения ОМНМ- и ВМНМ-моделей, выявлена связь, которая объясняет решение задачи определения ОМНМ-оценок с помощью итеративной процедуры с ВМНМ-оценками.

3. В области численных методов:

- разработан алгоритм численного метода квазилинейного анализа и нахождения ВМНМ-оценок с вычислительной сложностью не превосходящей  $O(m^2n^2)$ , в котором  $n$  – количество коэффициентов в исследуемом уравнении,  $m$  – количество наблюдаемых значений (приведенная характеристика вычислительной сложности ВМНМ представляется самой объективной из тех, что уже существуют в науке);
- разработан итеративный алгоритм нахождения ОМНМ-оценок.

4. В области комплексов программ:

- разработан комплекс компьютерных программ S4TSQA для имитационного моделирования и квазилинейного анализа временных рядов. Комплекс апробирован на модели трансфера инноваций, моделях делового цикла и ретро-прогнозе развития индекса фондового рынка Ирака. Проведены вычислительные эксперименты.

## **Степень обоснованности и достоверности основных положений и выводов**

Степень обоснованности изложенных в работе результатов обеспечивается строгими математическими обоснованиями всех утверждений, приведенных в диссертации.

Достоверность научных положений подтверждается строгой постановкой задач, корректными математическими обоснованиями формулируемых утверждений, результатами проведенных вычислительных экспериментов. Методы исследования основаны на современных методах математического моделирования, методах оптимизации и исследования операций, а численные алгоритмы решения задач являются конечными и реализуются с помощью вычислений с гарантированной точностью.

## **Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертанта**

Теоретическая значимость результатов обусловлена решением актуальных задач прогнозирования развивающихся процессов и идентификации систем с применением современного математического аппарата.

Практическая значимость заключается в том, что разработанные алгоритмы численных методов реализованы в виде комплекса программ для имитационного моделирования и квазилинейного анализа временных рядов. Описанные в диссертационном исследовании этапы и шаги, а также итоговый результат могут применяться для расчета перспектив явлений из разных сфер жизни человека: в социальной сфере, экономической и природной.

Результаты работы могут найти применение в теоретических и практических изысканиях университетов и научно-исследовательских организаций, таких как: Челябинский ГУ, Южно-Уральский ГУ, Омский ГУ, Томский ГУ, Новосибирский ГУ, Башкирский ГУ, Институте математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Институт вычислительной математики и

математической геофизики СО РАН, Институт математики и механики УРО РАН и других учреждениях.

### **Содержание диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографии. Общий объём диссертации составляет 134 страницы, из них 114 страниц основного текста, 11 страниц библиографии, включающей 80 наименований, и 9 страниц приложений, включающие свидетельство о регистрации программы и листинги с текстом программ.

В **первой главе** дан обзор состояния проблемы прогнозирования, состоящей в исследовании временных рядов и основанный на работах российских и зарубежных авторов. Отмечены достоинства, недостатки, границы применения известных подходов. Прогнозы развития процессов, как правило, требуют преобладания детерминизма над стохастичностью. Поэтому в качестве направления исследования выбран квазилинейный детерминированный анализ, заключающийся в идентификации разностных уравнений, которые строятся на основании разностных схем для дифференциальных уравнений, описывающих динамичный процесс. Рассмотрены модели оценивания воздействия разнообразных факторов рыночной среды на процессы перемещения (трансфера) и овладения инновационными (а также информационными) технологиями. Идентификация подобных процессов требует нахождения коэффициентов разностного уравнения по отсчетам временного ряда, что представляет сложную вычислительную задачу.

Во **второй главе** предложены численные методы решения проблемы идентификации квазилинейного уравнения авторегрессии.

Наличие ошибок в измеренных значениях эндогенных переменных ведет к их присутствию в значениях моноов в уравнении авторегрессии. При этом данные ошибки будут взаимно коррелированы, и иметь распределения вероятностей, отличающиеся от нормального распределения. Это делает

неэффективными классические схемы решения на основе метода наименьших квадратов (МНК) и его вариаций. Поиск оценок коэффициентов уравнения авторегрессии серьезно затрудняет плохая обусловленность систем уравнений, представляющих требуемые параметры по минимуму суммы квадратов отклонений, причем оценки перестают быть состоятельными.

В диссертации развивается техника применения метода наименьших модулей (МНМ) и его вариаций: взвешенного метода наименьших модулей (ВМНМ) и обобщенного метода наименьших модулей (ОМНМ). Данные методы являются робастными к наличию корреляции в коэффициентах системы уравнений, и (при подходящей настройке) наилучшими для распределений вероятностей ошибок с более тяжелыми (чем нормальное распределение) хвостами.

Предложен алгоритм ОМНМ-оценивание, представляющий итерационную процедуру с ВМНМ-оценками. Доказана его результативность.

В **третьей главе** дано описание зарегистрированного комплекса компьютерных программ для моделирования и квазилинейного анализа временных рядов.

В **четвертой главе** дано описание проведенных вычислительных экспериментов с моделью процессов трансфера инноваций, моделями делового цикла и с результатами ретро-прогноза развития индекса фондового рынка Ирака.

В **заключении** приведены результаты исследования, даны рекомендации по их применению, намечены перспективы дальнейших исследований.

Материалы диссертации опубликованы в 11 печатных работах, из них три статьи – в журналах из перечня ВАК по группе специальностей 05.13.18 и 05.13.01; одна статья в журнале из перечня ВАК по специальности 08.00.13, одна статья – в рецензируемых изданиях из наукометрических баз Scopus и

Web of Science; одна зарегистрированная компьютерная программа; пять статей – в сборниках трудов конференций.

### **Замечания**

1. В работе имеются стилистические и орфографические ошибки.
2. В разделе «1.2. Логистическая модель» изложено описание линейной модели Самуэльсона (1.3)-(1.6), которую принято относить к моделям делового цикла. К логистическим моделям относятся лишь нелинейные дифференциальное уравнение (1.7) и разностное уравнение (1.10).
3. Перегружено название диссертации. Считаю более подходящим «Детерминированный квазилинейный анализ временных рядов».

### **Заключение**

Указанные выше замечания в основном являются редакционными и не снижают научной и практической ценности исследования. Диссертация Мезала Ясира Али Мезала является законченной научно-квалифицированной работой, соответствует следующим пунктам: (п. 1) разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений; (п. 3) разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий; (п. 4) реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительных экспериментов, – паспорта специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ: а также п. 4: разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации, – паспорта специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информатика, информационно-вычислительное обеспечение).

Автореферат полностью отражает содержание работы, оформление которой соответствует требованиям ВАК России, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Учитывая вышеизложенное, считаю, что диссертационная работа «Квазилинейный анализ дискретных моделей нелинейной динамики (временных рядов)» удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор – Мезал Ясир Али Мезал заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Доктор физико-математических наук,  
доцент Картак Вади Михайлович,  
заведующий кафедрой «Вычислительная техника и защита информации»,  
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»

Адрес места работы: 450008, Республика Башкортостан, г. Уфа,  
ул. К Маркса, д.12, к. 5, ком. 308.

тел.: +7(908) 3503329

Адрес эл. почты: vtizi@ugatu.ru

