

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию М. И. Кусаинова  
«Адаптивное оптимальное прогнозирование многомерных процессов авторегрессионного типа с дискретным временем» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (отрасли: информатика, вычислительная техника и автоматизация)

### **Актуальность темы диссертации**

Работа диссертанта М. И. Кусаинова посвящена проблеме построения одношаговых прогнозов многомерных стохастических динамических систем с дискретным временем по выборке фиксированного объема. Рассматриваются, в частности, авторегрессионная модель первого порядка и модель авторегрессии-скользящего среднего первого порядка, а также авторегрессионная модель с дрейфом параметров динамики. Перечисленные модели имеют обширное применение в областях эконометрики, метеорологии, распознавания изображений и т. д., чем и объясняется актуальность естественно возникающей при их исследовании классической задачи прогнозирования. Отмечу, что хотя первые две модели (АР и АРСС) являются линейными и в этой связи накладывают ограничения на исследователя, то третья модель нелинейная и при выполнении некоторых условий эквивалентна известной модели AR/GARCH того же порядка, позволяющей изучить более сложные динамические системы с изменяющимися во времени параметрами.

В большинстве работ, посвященных прогнозированию процессов авторегрессионного типа, свойства прогнозов изучаются в асимптотике при растущем объеме наблюдений, тогда как в данной диссертации делается упор на построении и изучении свойств прогнозов по выборке ограниченного и, более того, фиксированного объема. Это обстоятельство также способствует актуальности исследования в смысле применимости к практическим задачам, в которых объем наблюдений всегда конечен. Кроме того проводится и асимптотическое исследование процедур прогнозирования в зависимости от возрастающих требований на их качество.

### **Новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертационной работе**

В своей диссертационной работе М. И. Кусаинов решил ряд задач оптимального адаптивного прогнозирования устойчивых процессов авторегрессионного типа. Адаптивность понимается в смысле приспособления процедуры прогнозирования к неизвестным параметрам модели, тогда как оптимальность определяется специальным образом заданной функцией потерь. Следует более детально отразить результаты, полученные соискателем.

Во введении раскрывается актуальность исследования, необходимость и обоснованность выносимых на защиту результатов, приводится краткий содержательный обзор относящихся к теме диссертации работ других авторов.

В первой главе соискателем сформулирована проблема построения одношаговых прогнозов и последующей оптимизации процедуры прогнозирования в применении к устойчивому многомерному процессу  $AR(1)$  с неизвестными распределениями шумов и матричным параметром динамики. Для этого параметра

строится усеченная оценка, которая определяется на основе классической оценки по методу наименьших квадратов, ее неасимптотические свойства, заключающиеся в нахождении для любого объема выборки верхней границы  $L_{2m}$ -нормы отклонения, формулируются в Лемме 1.1. При этом скорость сходимости оценки оказывается отличной от оптимальной лишь на логарифм, а для скалярного процесса  $AR(1)$  в предположении известной дисперсии шума скорость сходимости оптимальна, что следует из Замечания 1.2. Далее с использованием полученной оценки параметра динамики определяются адаптивные прогнозы значений процесса. Функция потерь определяется как взвешенная сумма среднеквадратической ошибки одношаговых прогнозов и длительности наблюдений. Таким образом, оптимизация процедуры прогнозирования трактуется как нахождение баланса между точностью прогнозов и количеством времени, необходимым для ее достижения. Подобный вид функции потерь был предложен известным американским специалистом в области идентификации систем Т. Н. Шрирамом в схожей постановке задачи, о чем упомянуто в тексте диссертации. Преимущество данной работы состоит в том, что рассматривается многомерный случай и более сложные модели, кроме того Т. Н. Шрирам фактически рассматривал задачу интерполяции, а не прогнозирования. Найденные после минимизации функции риска оптимальный объем выборки и минимальное значение риска линейно зависят от корня дисперсии шумов, этот параметр в общем случае неизвестен. Строится его оценка с помощью усеченной оценки параметра динамики процесса, что позволяет определить адаптивные оптимальный объем наблюдений и минимальное значение риска. Теорема 1.1 устанавливает эквивалентность оптимального объема наблюдений и минимального значения риска для случая известной дисперсии шума модели, своим соответствующим адаптивным величинам. Эквивалентность понимается как сходимость их отношений к единице почти наверное и в среднем. В ходе доказательства Теоремы 1.1 показывается сильная состоятельность усеченных оценок матричного параметра динамики.

В Главах 2 и 3 постановка задачи Главы 1 рассматривается в применении к устойчивым многомерным процессам  $AR(1)$  с дрейфующим матричным параметром динамики и  $ARCC(1,1)$  соответственно. В целом алгоритм решения задачи повторяет алгоритм Главы 1. А именно: неизвестные параметры динамики оцениваются с помощью усеченных оценок, свойства которых сформулированы в Леммах 2.1 и 3.1. Также для процесса  $ARCC$  в случае неизвестного параметра скользящего среднего и известной ковариационной матрицы шумов построена оценка параметра скользящего среднего, ее свойства устанавливает Лемма 3.2. Отмечается, что все перечисленные оценки сильно состоятельны. На их основе строятся одношаговые прогнозы, процедура прогнозирования оптимизируется в смысле функции потерь, задаваемой аналогично Главе 1. В каждом случае получаемый оптимальный объем наблюдений (и соответствующее минимальное значение риска) зависит от ряда параметров модели, неизвестных в общем случае. Строя их оценки, диссертант определяет адаптивный оптимальный объем наблюдения. Эквивалентность оптимального объема наблюдения и минимального значения риска своим адаптивным аналогам устанавливается Теоремами 2.1 и 2.2. Для процесса  $ARCC$  рассмотрен также случай, когда неизвестен как параметр скользящего среднего, так и дисперсия шумов модели. При таких предположениях вид одношаговых прогнозов отличается по форме от вида оптимальных в среднеквадратическом смысле прогнозов, соответственно возрастают

теоретический оптимальный объем выборки и минимальное значение риска. Результат их эквивалентности соответствующим адаптивным величинам дает Теорема 3.2.

В четвертой главе теоретические результаты предыдущих глав подтверждены компьютерным моделированием поведения исследуемых характеристик для всех трех моделей.

В целом можно заключить, что все результаты, полученные автором в диссертации, представляют собой новые научные положения и выводы, составляющие вклад в развитие современной теории адаптивного оптимального прогнозирования.

#### **Степень обоснованности и достоверности научных положений, изложенных в диссертации**

Полученные автором научные положения и выводы имеют строгое математическое доказательство. При этом используется широкий спектр методов теории вероятностей, теории случайных процессов, анализа временных рядов, линейной алгебры, математического анализа, имитационного моделирования. Результаты компьютерного моделирования также указывают на достоверность теоретических результатов. Изложенные в диссертации научные результаты в достаточной мере апробированы на конференциях различного уровня и при опубликовании в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования диссертационных исследований. В частных случаях полученные в диссертации результаты согласуются с известными результатами, полученными ранее другими авторами.

Сказанное выше свидетельствует о достоверности и обоснованности представленных в диссертации результатов.

#### **Полнота опубликования результатов работы, соответствие автореферата содержанию диссертации**

Все основные результаты диссертационной работы отражены в трех публикациях в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций, в том числе одна публикация в зарубежном журнале. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на научных конференциях всероссийского и международного уровня. Автореферат логически структурирован и полностью отражает содержание диссертации.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в развитии адаптивных методов прогнозирования многомерных динамических систем с неизвестными параметрами. В частности, полученные результаты обобщают и развивают подход Т. Н. Шрирама к проблеме прогнозирования. При этом получил развитие новый метод усеченного оценивания, позволяющий строить оценки матричных параметров динамических систем, имеющих заданное качество по выборкам фиксированного объема.

Практическое значение результатов диссертации заключается в возможности применения готовой к использованию методики одношагового адаптивного прогнозирования в различных прикладных задачах, в которых увеличение объема

выборки при построении адаптивных прогнозов является принципиальным фактором.

### **Замечания и недостатки диссертационной работы**

Существенных недостатков в диссертационной работе мною не замечено.


В качестве замечания-пожелания отмечу:

1. Было бы интересно применить разработанную методику, хотя бы для простейшей модели, для построения не только одношаговых, но и к-шаговых прогнозов.

### **Заключение**

Диссертация М. И. Кусаинова «Адаптивное оптимальное прогнозирование многомерных процессов авторегрессионного типа с дискретным временем», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научной квалификационной работой, соответствующую критериям пунктов 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней. Считаю, что соискатель Кусаинов Марат Ислямбекович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (отрасли: информатика, вычислительная техника и автоматизация).

Официальный оппонент  
заведующий кафедрой «Информатика»  
Института космических и информационных технологий  
Сибирского федерального университета,  
доктор технических наук, профессор,  
заслуженный деятель науки РФ

 А.И. Рубан  
(Рубан Анатолий Иванович)  
25.11.2015

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Сибирский федеральный университет»,  
Институт космических и информационных технологий (ИКИТ),  
660074, г. Красноярск, ул. Киренского 26, корп. УЛК, 319 улк,  
тел. 8 (391) 2-912-575 (секр ИКИТ), 8 (391) 2-912-234, 8 (391) 2-912-296 (секр каф).  
email: [ai-rouban@mail.ru](mailto:ai-rouban@mail.ru); [ARouban@sfu-kras.ru](mailto:ARouban@sfu-kras.ru),  
website: <http://ikit.sfu-kras.ru/Ruban>

Подпись  
Рубана Анатолия Ивановича

