



УТВЕРЖДАЮ
Заместитель управляющего директора
Главный конструктор
ОАО МНПК «Авионика»,
кандидат технических наук
Р.Р. Абдулин
« _____ » декабря 2016 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Тюменцева Юрия Владимировича на тему «Нейросетевое моделирование адаптивных динамических систем», представленной к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)».

Одним из важнейших элементов комплекса средств, обеспечивающего разработку алгоритмов управления для динамических систем, включая летательные аппараты различных классов, является модель (математическая и компьютерная) рассматриваемой системы как объекта управления. При традиционном подходе к синтезу алгоритмов управления ЛА, как и других видов динамических систем, модель объекта необходима на этапе формирования этих алгоритмов. В то же время, если на систему управления возлагаются функции парирования влияния неопределенностей различных видов, включая неопределенности, порождаемые нештатными ситуациями (отказы, повреждения), возникает проблема надления системы управления свойствами адаптивности, т.е. возможностями подстраивать алгоритм управления под меняющуюся ситуацию. В таком случае модель объекта, которая использовалась на этапе разработки системы управления, перестает соответствовать объекту и требуется восстановить в реальном времени полёта ее адекватность и адекватность соответствующих модели законов управления управляемому объекту. Таким образом, модель объекта, наряду с алгоритмами управления, должна непрерывно подстраиваться под реальные характеристики объекта, то есть должна быть адаптивной. Наличие у системы управления свойства адаптивности позволяет существенно повысить качественные характеристики устойчивости и управляемости ЛА и безопасность полётов. Учитывая то значение, которое всегда придается проблеме безопасности полета, проблема адаптивного моделирования управляемых динамических систем имеет высокую **актуальность**.

Традиционно обеспечение нечувствительности систем управления к малым изменениям параметров модели объекта осуществляется на основе придания системам управления свойства робастности. Существенные изменения модели, по отношению к использованной при синтезе алгоритмов управления, парируются путём её адаптации на основе теории текущей (в реальном времени) идентификации. При этом относительно небольшие изменения в модели определяются средствами параметрической идентификации с использованием известных структур систем обыкновенных дифференциальных уравнений, характеризующих модель. Однако такая форма модели объекта не позволяет удовлетворить требованию ее адаптивности в случае более значительных и непредвиденных изменений в объекте. В этом случае применяют методы непараметрической идентификации и, наряду с другими вариантами математического описания моделей, в качестве альтернативы дифференциальным уравнениям часто используют математический аппарат искусственных нейронных сетей. Однако этот аппарат в его традиционном варианте опирается, как правило, на рассмотрение динамической системы в виде «черного ящика», что накладывает серьезные ограничения на уровень сложности решаемых задач. В связи с этим, **цель** диссертационной работы заключается в создании класса математических и компьютерных моделей, основанных на нейросетевой технологии, так как она обеспечивает требуемую адаптивность модели, но использующая концепцию «серый ящик», согласно которой модель строится не только на основе экспериментальных дан-

ных о поведении объекта управления, но и на теоретических знаниях о его свойствах. В итоге получен класс гибридных (полуэмпирических) моделей динамических систем, позволяющий решать задачи анализа поведения, синтеза управления и идентификации характеристик динамических систем.

Реализация данной цели потребовала проведения обширных исследований в области нейросетевых технологий, математического моделирования управляемых динамических систем, идентификации характеристик таких систем. Эти исследования позволили получить следующие **новые научные результаты**: разработан подход к гибридному нейросетевому моделированию динамических систем и основанный на нем класс моделей полуэмпирического типа, объединяющий теоретические знания об объекте моделирования и экспериментальные данные о его поведении; разработано унифицированное структурное описание нейросетевых моделей, обеспечивающее единообразное представление статических и динамических сетей; разработан композиционный подход к синтезу статических и динамических нейросетевых моделей, основанный на интерпретации таких моделей, как разложений по обобщенному функциональному базису; разработаны алгоритмы формирования гибридных нейросетевых моделей полуэмпирического типа, а также алгоритмы их структурной корректировки и параметрической настройки; разработаны методы и алгоритмы получения обучающих данных для нейросетевых моделей динамических систем; для управляемых динамических систем разработан подход к решению задачи идентификации их характеристик как нелинейных функций многих переменных; предложена типология динамических систем, обеспечивающая единый контекст для решения задач анализа поведения, синтеза управления и идентификации характеристик при создании перспективных технических систем различных классов.

Предложенный в диссертации класс гибридных нейросетевых моделей динамических систем, а также методы синтеза и параметрической настройки таких моделей открывают новые возможности для решения задач управления поведением сложных технических систем, действующих в условиях неопределенностей. Данное обстоятельство определяет высокую **теоретическую значимость** рассматриваемой диссертационной работы. Ее **практическая значимость** состоит в том, что на основе полученных в ней результатов могут разрабатываться алгоритмы автоматической адаптации законов управления ЛА к неопределенностям в объекте и внешней среде, что позволит существенно повысить их эффективность при решении сложных целевых задач, а также выживаемость в неблагоприятных условиях. Эти результаты могут быть использованы разработчиками перспективных ЛА при формировании алгоритмов адаптивного управления полётом, а также при решении задач идентификации характеристик ЛА.

В качестве **замечаний по автореферату** считаем необходимым отметить следующие:

- 1) диссертация относится к известной области проблем идентификации математических моделей динамических систем, в которой накоплен обширный теоретический и практический опыт, в том числе, опыт построения и идентификации нейросетевых моделей (см., например, Цыпкин Я. 3. Информационная теория идентификации. — М.: Наука. Физматлит, 1995. — 336 с.). Вместе с тем, из текста автореферата неясно, проводился ли соответствующий анализ предметной области исследований и сравнивались ли полученные результаты с результатами других авторов в рассматриваемой области;
- 2) в тексте автореферата ни разу не упоминается понятие реального времени функционирования динамической системы. В связи с этим непонятно, относятся ли полученные автором результаты к стадии предварительного проектирования систем управления, либо к стадии их непосредственного применения в реальном времени полёта. Если предполагается адаптация моделей в реальном времени полёта, то в автореферате недостаёт материалов, характеризующих время текущей идентификации их структур и параметров;
- 3) одной из ключевых проблем идентификации вообще и нейросетевой идентификации в частности является проблема состоятельности или сходимости оценок параметров или моделей. Из автореферата не ясно, как автором решается данная проблема?

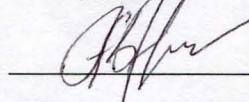
Указанные замечания не снижают общей положительной оценки рассматриваемой диссертационной работы. Представленный автореферат дает основания утверждать, что работа удовлетворяет требованиям ВАК РФ, а ее автор, Тюменцев Юрий Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)».

Главный конструктор ТН-17
Открытого акционерного общества
«Московский научно-производственный
комплекс «Авионика» имени О.В. Успенского»
(ОАО МНПК «Авионика»),
к.т.н., доцент,
Действительный член «Академии навигации и управления движением»



Кулабухов Владимир Сергеевич

Заместитель главного конструктора ТН-17
Открытого акционерного общества
«Московский научно-производственный
комплекс «Авионика» имени О.В. Успенского»
(ОАО МНПК «Авионика»),
д.т.н., доцент



Бронников Андрей Михайлович

Адрес: 127055, Россия, Москва, ул. Образцова, 7
Тел.: 8-965-119-40-38
E-mail: nit@mnpk.ru

Подписи Кулабухова В.С. и Бронникова А.М. заверяю:

Начальник отдела кадров
ОАО МНПК «Авионика»



О.Б. Прибылова

