

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Тюменцева Юрия Владимировича
«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)».

Традиционным аппаратом математического и компьютерного моделирования динамических систем (ДС) являются дифференциальные уравнения. Такие модели, в сочетании с соответствующими численными методами, широко используются при решении задач синтеза и анализа управляемого движения систем различных классов. Однако, на практике часто возникает ряд проблем, которые нельзя решить традиционными методами. Такая ситуация появляется, например, когда свойства соответствующей системы и/или условия ее функционирования не могут быть строго формализованы. Для компенсации неопределенностей, система должна обладать адаптивностью, т.е. способностью к оперативной подстройке параметров к меняющейся обстановке. Это возможно лишь если законы управления системы, также как и ее модели, будут наделены свойствами изменчивости. По этой причине **актуальность** исследований, заявленных соискателем в докторской диссертации не вызывает сомнений.

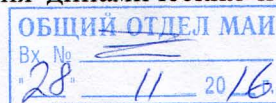
Объектом исследования соискателя являются, таким образом, управляемые ДС, действующие в условиях априорных неопределенностей. Последние могут быть порождены неконтролируемыми возмущениями внешней среды, либо изменениями свойств ДС из-за отказов ее оборудования или повреждений. Необходимые модели, пригодные для бортовых комплексов управления, должны быть нелинейными, многомерными, наделенными свойством адаптивности. Практически очевидно, что модели динамических систем в виде дифференциальных уравнений не обладают требуемыми свойствами. Следовательно, необходим поиск альтернативных вариантов. В последнее время популярны модели динамической системы, основанные на технологиях искусственных нейронных сетей (ИНС). Этот вариант обеспечивает нужную адаптивность, но имеет существенные ограничения на уровень сложности моделируемых систем. Действительно, модель как «черный ящик» приводит, в общем случае, к росту размерности фазового пространства, а объем необходимой обучающей выборки намного превышает требования прикладных задач. Поэтому, основной **целью** рассматриваемой диссертационной работы является создание подхода к моделированию нелинейных управляемых динамических систем, позволяющего получать адаптивные модели для систем с уровнем сложности, типичным для приложений.

Основная идея предложенного в диссертации подхода состоит в том, чтобы исходную чисто эмпирическую модель, т.е. «черный ящик» наделить некоторым образом теоретическими знаниями, подходящими для моделируемой системы. Это позволит резко снизить размерность «умной» модели и, соответственно, резко снизить необходимый объем обучающей выборки.

В итоге, в диссертации получен новый класс математических и ИНС-моделей, получивших наименование полуэмпирических – т.н. «серых ящиков». Серый ящик, как показывают результаты вычислительных экспериментов, приводимые соискателем, обладает высокой точностью и необходимым быстродействием. Кроме того, полуэмпирическое моделирование позволяет ставить и эффективно решать задачи идентификации характеристик динамической системы, важные для практики, но традиционно непростые для решения.

Реализация поставленной цели потребовала проведения в рамках диссертационной работы обширных исследований, большая часть результатов которых обладает **научной новизной**. Эти результаты вносят вклад в *три области исследований*, связанные с решением проблемы обеспечения адаптивности динамических систем, а именно:

1. *нейросетевые технологии*: разработано новое унифицированное структурное описание ИНС-моделей, обеспечивающее универсальное представление всех видов статических и динамических сетей; разработаны эффективные алгоритмы обучения динамических нейронных сетей;



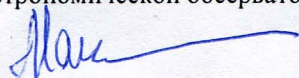
2. *математическое моделирование нелинейных управляемых ДС*: разработан подход к гибриднему нейросетевому моделированию ДС и основанный на нем класс моделей полуэмпирического типа. Предложен композиционный подход к синтезу статических и динамических нейросетевых моделей, основанный на интерпретации ИНС модели как разложения 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;
3. *идентификация характеристик динамических систем*: разработан подход к решению задачи идентификации характеристик ДС как нелинейных функций многих переменных; сформирована типология ДС, обеспечивающая единый контекст для решения задач анализа поведения, синтеза управления и идентификации характеристик при создании перспективных технических систем различных классов.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что предложенный в диссертации класс нейросетевых моделей ДС в сочетании с методами их формирования, открывает новые возможности для решения задач управления поведением сложных технических систем в условиях неопределенности. Полученные результаты могут быть использованы разработчиками перспективных технических систем, включая летательные аппараты, при формировании алгоритмов адаптивного и интеллектуального управления их поведением, а также анализа их поведения и решения задач идентификации характеристик. Результаты, полученные в ходе выполнения работы, представлены в монографии, в 86 публикациях в рецензируемых журналах и сборниках научных трудов, а также в сборниках тезисов конференций. В их числе 23 статьи в журналах из перечня ВАК РФ, 9 статей в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus, 42 публикации в изданиях, индексируемых в РИНЦ.

В качестве **замечаний** по диссертационной работе следует указать, что : 1) текст автореферата не содержит упоминаний о доказательствах сходимости сегментированного алгоритма обучения полуэмпирических нейросетевых моделей, который играет важную роль в подходе соискателя; 2) в диссертации широко используются модели типа NARX (нелинейная авторегрессия с внешними входами работе). Именно с ними сопоставляются полуэмпирические модели соискателя. Однако, мотивированное обоснование такого выбора в тексте автореферата отсутствует.

Указанные замечания не снижают **общей высокой оценки** рассматриваемой диссертационной работы. Как следует из представленного автореферата, работа представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне и полностью удовлетворяет требованиям ВАК РФ предъявляемых к докторским диссертациям, а ее автор, Тюменцев Юрий Владимирович, несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)».

Доктор физико-математических наук,
зав. сектором математического моделирования
нелинейных процессов в гелио/геофизике
Главной (Пулковской) астрономической обсерватории



Макаренко Николай Григорьевич

Адрес: 196140, Россия, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе 65 корп. 1, ГАО РАН
Тел.: +7(812)363-7040
E-mail: ng-makar@mail.ru

Подпись Макаренко Н.Г. заверяю:
Ученый секретарь ГАО РАН, к.ф.-м.н.



Борисевич Татьяна Петровна