

О Т З Ы В

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)»

Возможности средств математического и компьютерного моделирования отстают от потребностей таких областей как авиация, ракетно-космическая техника, робототехника, управление сложными производственными процессами и т.п. Для систем из этих областей характерны высокая сложность, многомерность, нелинейность, нестационарность. Таким системам обычно сопутствует неполное и неточное знание их характеристик и свойств, а также условий, в которых система будет действовать. Моделируемый объект в процессе функционирования может претерпевать изменения в свойствах, в частности, из-за повреждений в его конструкции и отказов оборудования. Тогда модель, сформированная ранее на основе номинального состояния объекта, становится неадекватной и если она используется, например, в системе управления объектом, возникает критическая ситуация. В последние годы активно ведется рассмотрение адаптивных систем управления в качестве средства существенного повышения безопасности полета летательных аппаратов (ЛА) за счет корректировки (реконфигурации) их законов управления. Реализация таких систем требует наличия в их составе модели объекта управления. При возникновении нештатных ситуаций, упомянутых выше, возникает проблема восстановления адекватности модели объекту управления, т.е. модель должна, наряду с законом управления, обладать адаптивностью. Отсюда следует **актуальность** проблемы получения адаптивной модели объекта, поскольку она является одним из критических элементов адаптивной системы управления, обеспечивающей повышение безопасности полета ЛА.

Модель поведения динамической системы, в частности, модель движения ЛА в ее традиционном варианте (система дифференциальных уравнений) не обладает адаптивностью. Класс математических моделей, для которых адаптивность представляет собой неотъемлемое свойство, это модели, основанные на концепции искусственной нейронной сети. Нейросетевые модели управляемых динамических систем, однако, существенно ограничены по возможностям работать с задачами такого уровня сложности, который представляет интерес для практических применений. Это является следствием концепции системы типа «черный ящик», которая положена в основу нейросетевого моделирования. В связи с этим, основной **целью** диссертационной работы является создание нового класса математических моделей, который объединил бы возможности эмпирических (нейросетевых) и теоретических (дифференциальные уравнения) моделей, одновременно компенсируя их недостатки.



Сформированный класс гибридных моделей (модели типа «серый ящик», полуэмпирические модели), основывается как на экспериментальных данных о поведении моделируемой системы, так и на теоретических знаниях о ее свойствах. Результаты обширной серии вычислительных экспериментов, представленные в диссертации, показывают, что полуэмпирические модели являются эффективным средством решения задач анализа поведения, синтеза управления и идентификации характеристик динамических систем, в частности, летательных аппаратов различных классов.

Научная новизна работы состоит в том, что: 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 НС-моделей, обеспечивающее единообразное представление всех видов статических и динамических сетей; разработан композиционный подход к синтезу статических и динамических НС-моделей, основанный на интерпретации НС-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 НС-моделей динамических систем; для динамических систем разработан подход к решению задачи идентификации их характеристик как нелинейных функций многих переменных; сформирована типология динамических систем, обеспечивающая единый контекст для решения задач анализа поведения, синтеза управления и идентификации характеристик при создании перспективных технических систем различных классов.

Теоретическая значимость работы состоит в том, что предложенный в диссертации класс моделей, а также методы их синтеза и параметрической настройки открывают новые возможности для решения задач управления поведением сложных технических систем в условиях неопределенности. Особенно существенно, что полученные теоретические результаты могут послужить основой для роботизации ЛА, позволяющей существенно повысить их эффективность при работе в сложных условиях. Полученные результаты могут быть использованы разработчиками перспективных ЛА при формировании алгоритмов адаптивного и интеллектуального управления их поведением, а также для анализа их поведения и решения задач идентификации характеристик, что определяет **практическую значимость** работы.

По содержанию диссертации имеются следующие **замечания**.

1. Процесс преобразования исходной теоретической модели в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений в ее нейросетевое представление в значительной степени определяет то, насколько точной будет формируемая модель, а в ряде случаев и то, удастся ли вообще получить работоспособную модель. Данный процесс описывается слишком сжато и не позволяет в должной степени понять его специфику.

2. Один из определяющих элементов процесса формирования полуэмпирической модели состоит в преобразовании исходной модели с непрерывным временем в модель с дискретным временем. Вид разностной схемы, используемой при таком преобразовании, непосредственно влияет на свойства получаемой в итоге полуэмпирической модели (точность, устойчивость). Анализу такого влияния в работе уделено недостаточное внимание.

Следует подчеркнуть, что приведенные выше замечания не снижают общей высокой оценки рассматриваемой диссертационной работы. Представленный автореферат позволяет заключить, 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)».

Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор

Аверченков В.И.

29 ноября 2016 г.

Аверченков Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»,
заведующий кафедрой «Компьютерные технологии и системы»
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
тел. (4832) 56-24-08, e-mail: aver@tu-bryansk.ru

