

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Егорчева Михаила Вячеславовича на тему «Полуэмпирическое нейросетевое моделирование нелинейных динамических систем», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 — «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

**Актуальность диссертационной работы.** Теоретические модели динамических систем основаны на их структуре и физических принципах. Для большого числа практически интересных задач, такие модели для объекта, который находится в нелинейном и нестационарном окружении, не являются оптимальными. В качестве паллиатив рассматривают модели, основанные на обучении реакциям или ответам системы на изменения параметров среды. Трудности связаны здесь с большим числом параметров при малой обучающей выборке. Кроме того, всегда возможны большие отклонения (аварийные ситуации). Поэтому, предсказательная эффективность таких моделей, реализованных обычно на ИНС, мала. Обучение сети общим принципам «типичного» сценария не эффективно, а детальный учет всех возможных ситуаций попросту невозможен.

Именно поэтому, весьма актуальной является гибридная модель, выбранная соискателем в качестве предмета исследования. Она является синтезом теоретической модели с методами статистического обучения ИНС. Такой полуэмпирический нейросетевой подход к моделированию, позволяет снизить количество весов, требующих настройки, за счет привнесения в структуру модели априорных теоретических знаний из соответствующей предметной области. При обучении чисто эмпирических рекуррентных ИНС (сети Элмана), состояния контекстных нейронов в начальный момент времени для каждой траектории из обучающего множества являются неизвестными и задаются произвольно. Например, их полагают равными нулю. Это редуцирует область применения классического нейросетевого подхода до случаев, когда прогноз заведомо реализуется для одного и того же начального состояния, либо когда объект моделирования является системой с затухающей памятью. Следует заметить, что системы, которые асимптотически не помнят о своем начальном состоянии, являются детерминированными, в случае, когда входным алфавитом для них будет белый шум (так называемая «теорема» Хансена). Альтернативным подходом является настройка начальных значений переменных состояния совместно с остальными параметрами модели. Однако, это существенно усложняет соответствующую задачу оптимизации. Известны различные подходы к решению этих проблем, но они разработаны лишь для дискретной сетки аргументов.

**Научная новизна исследования.** В представленной диссертационной работе полуэмпирический нейросетевой подход к математическому моделированию управляемых динамических систем распространен на случай непрерывного времени.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Полуэмпирический нейросетевой подход к моделированию и идентификации управляемых динамических систем в пространстве состояний позволяет уменьшить количество параметров модели, требующих настройки, по сравнению с чисто эмпирическим подходом. Тем самым повышается обобщающая способность моделей. Гибридные модели

используют априорные теоретические знания которые позволяют определить состав вектора переменных состояния. Следовательно, указанные переменные будут иметь интерпретацию в терминах предметной области. При этом, их начальные значения можно оценить при помощи дополнительных измерений или калибровок в процессе эксперимента. Даже если значения параметров состояния приходится настраивать в процессе обучения, предварительная теоретическая оценка может быть использована в качестве «хорошего» начального приближения.

В качестве **замечания** по диссертационной работе следует указать, что соискатель рассматривает лишь детерминированные нейросетевые модели динамических систем. Это обстоятельство сужает область применимости предложенного подхода. В частности, в задаче моделирования движения летательного аппарата, не могут быть учтены, например, порывы ветра, турбулентные потоки и другие стохастические по своей природе факторы. Данное замечание не снижает ценности рассматриваемой диссертационной работы. Представленный автореферат позволяет заключить, что работа представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне с вполне приемлемым уровнем строгости. Полученные результаты представлены в семи публикациях, включенных в перечень ВАК.

По моему мнению, диссертационная работа Егорчева Михаила полностью удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Егорчев Михаил Вячеславович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

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

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](mailto:ng-makar@mail.ru)

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



Борисевич Татьяна Петровна