

УТВЕРЖДАЮ

Проректор НГТУ по научной работе
д.т.н., профессор

Вострецов А.Г.



” февраля 2017 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» на диссертационную работу Копляровой Надежды Владимировны “Непараметрические модели и алгоритмы управления нелинейными системами класса Винера и Гаммерштейна”, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (космические и информационные технологии)

Результаты диссертационной работы Копляровой Надежды Владимировны были обсуждены ведущими специалистами кафедры теоретической и прикладной информатики и Центра статистических технологий НГТУ. По результатам обсуждения диссертационной работы Копляровой Надежды Владимировны принято следующее заключение.

1. Актуальность темы исследований

Задачи идентификации исследуемых процессов, возникающие при управлении сложными промышленными объектами в условиях неполной информации, представляют собой множество сложнейших и актуальных задач. От решения задач идентификации нелинейных динамических систем в условиях имеющейся априорной информации в немалой степени зависит эффективность работы этих объектов и качество сопровождения технологических процессов с использованием автоматизированных систем управления, реализуемых на базе современных технических средств.

Диссертационная работа посвящена исследованию задачи идентификации нелинейных динамических систем, представляемых в виде моделей типа Винера и Гаммерштейна, линейная динамическая часть которых находится в условиях непараметрической неопределенности. Подход к идентификации таких систем в условиях непараметрической неопределенности, базирующийся на использовании непараметрической

оценки регрессии Надарая-Ватсона, был предложен А.В. Медведевым. Диссертация нацелена на повышение эффективности управления и прогнозирования поведения нелинейных динамических объектов рассматриваемых классов в условиях разнотипной априорной информации с применением непараметрических моделей и алгоритмов управления, на подтверждение работоспособности используемых методов.

2. Научная новизна исследований и полученных результатов

Результаты, полученные в диссертационной работе, являются новыми, опубликованы в 26 работах автора, среди которых 7 статей в журналах из списка, рекомендованного ВАК, остальные работы в трудах международных конференций и в сборниках трудов.

Диссертация объемом 174 страницы включает введение, 4 главы основного содержания, заключение, список использованных источников из 174 наименований и приложение на 2-х страницах, включающее 2 справки об использовании результатов исследований.

В **первой главе** диссертации (23 стр.) рассматриваются общие сведения о нелинейных системах, постановка задач идентификации в зависимости от априорной информации о системе. Рассматриваются линейные динамические системы, используемые для описания процессов технологических цепочек на предприятиях, подходы к идентификации таких моделей в зависимости от наличия априорной информации. Рассматриваются критерии проверки предположения о линейности систем, основанные выполнении принципа суперпозиции и проверки соотношения между корреляционным отношением и квадратом коэффициента корреляции. В заключительном пункте главы рассматриваются подходы к идентификации нелинейных систем, которые условно разделены на три группы, основанные: на представлении системы в виде суммы рядов Вольтерра; на линеаризации характеристик системы; на представлении системы в виде различных сочетаний линейного динамического и нелинейного безынерционного блоков, к которым принадлежат модели класса Винера и Гаммерштейна.

Во **второй главе** диссертации (48 стр.) для нелинейных динамических систем, представленных в виде моделей класса Винера или Гаммерштейна при частично параметризованной структуре объекта, предлагается и рассматривается использование непараметрических моделей. В п.2.1 приводится постановка задачи идентификации систем класса Винера и Гаммерштейна. В п. 2.2 рассматривается построение непараметрической модели для систем класса Винера, представляющих собой динамические системы в виде последовательного соединения линейного динамического и нелинейного безынерционного блоков. Предлагается подход, предусматривающий проведение дополнительных экспериментов для оценки ненаблюдаемого выхода $w(t)$ линейной части объекта и общее построение непараметрической модели системы. Далее рассматривается построение непараметрических моделей для систем Винера с квадрататором и с насыщени-

ем. Подход иллюстрируется на модельных примерах. В п. 2.3 рассматривается построение непараметрической модели для систем класса Гаммерштейна, где последовательно соединены нелинейный статический и линейный динамический блоки, причем структура нелинейного блока известна с точностью до параметра. Аналогично рассматривается построение непараметрических моделей для систем Гаммерштейна с квадратором и с насыщением, приводятся примеры моделирования. В п. 2.4 рассматриваются подходы к определению вида нелинейности моделей Винера и Гаммерштейна, построение непараметрической оценки прогноза выхода нелинейного объекта класса Винера в условиях неопределенности, непараметрической модели для системы Гаммерштейна. В п. 2.5 приводятся достаточно обширные результаты численных исследований. Исследуются критерии проверки линейности. Демонстрируется на модельных примерах возможность использования непараметрических моделей, точность прогнозирования в зависимости от уровня помехи, возможность оценивания нелинейного элемента.

Третья глава диссертации (49 стр.) посвящена управлению динамическими системами в условиях ограниченной априорной информации. Рассматривается система адаптивного управления объектом, параметрическая структура которого неизвестна, при наличии случайных воздействий на объект и помех в каналах измерений. Область исследований ограничена системами классов Винера или Гаммерштейна в условиях частичной неопределённости. Предлагается при построении “изучающей” части устройства управления использовать непараметрический подход к идентификации и оценивать обратные операторы объектов с применением непараметрической оценки регрессии Надарая-Ватсона. В п.3.3 описывается предложенный непараметрический алгоритм управления линейными динамическими системами. Так как непараметрический регулятор настраивается с использованием модели, для устранения возможных неточностей регулирования из-за погрешностей непараметрического оценивания обратного оператора предлагается использование дополнительного регулятора, включенного в цепь обратной связи. Приводятся примеры, иллюстрирующие предложенный адаптивный алгоритм управления. В п. 3.4 рассмотрен предложенный непараметрический алгоритм управления нелинейной динамической системой класса Винера с примерами численного моделирования, а в п.3.5 – системой класса Гаммерштейна. В п.3.6 (на ряде примеров) приводятся результаты численных исследований непараметрических устройств управления системами классов Винера и Гаммерштейна, а также замкнутой схемы управления такими системами, которые иллюстрируют работоспособность разработанных алгоритмов.

В **четвёртой главе** диссертации (27 стр.) рассматриваются задача построения адаптивной модели для реального объекта – котлоагрегата ТЭЦ. Приводится описание технологического процесса, ставится задача идентификации для процесса сжигания угля и получения перегретого пара,

приводятся результаты анализа существующей статистики наблюдений за объектом (оценки условных и безусловных плотностей анализируемых величин, результаты корреляционного анализа, построенные непараметрические оценки регрессии). Предлагается схема управления процессом, включающая устройство управления с непараметрической оценкой обратного оператора объекта. На основании результатов моделирования показывается, что использование предложенной схемы управления должно принести положительный эффект.

В **заключении** формулируются основные результаты, полученные в работе.

В **приложении** приводятся справки о внедрении результатов исследований.

Все основные результаты диссертации опубликованы, апробированы на ряде научных конференций и семинаров, в том числе международных.

Диссертация написана в хорошем математическом стиле, изложение достаточно четкое и грамотное.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

3. Обоснованность и достоверность полученных результатов

Результаты базируются на применении достижений в области идентификации нелинейных динамических систем и методов непараметрической статистики. Достоверность полученных соискателем результатов подтверждается строгостью применения математического аппарата при выводе соотношений, подтверждением выводов и предположений результатами численного, в том числе, статистического моделирования.

Результаты автора не противоречат и согласуются с результатами других исследователей, полученными при использовании параметрического подхода.

4. Научная и практическая ценность основных положений диссертации

Научная и практическая ценность диссертации заключается:

- в разработке и исследовании непараметрических алгоритмов моделирования нелинейных динамических систем класса Винера и Гаммерштейна при различной априорной информации о типе нелинейного блока, предусматривающих при решении задачи идентификации оценивание параметров нелинейного элемента моделей в условиях отсутствия информации о порядке и параметрах дифференциального уравнения;

- в разработке модифицированного непараметрического алгоритма оценивания вида нелинейного элемента моделей классов Винера и Гаммерштейна, применяемого к решению задачи идентификации при неизвестной параметрической структуре линейного динамического и нелинейного безынерционного блоков и предусматривающего непараметрическое оценивание линейной и нелинейной частей системы;

– в разработке адаптивных алгоритмов непараметрического управления динамическими процессами класса Винера и Гаммерштейна, реализующих возможность эффективного управления процессом в условиях недостатка априорной информации о порядке и параметрах линейного динамического блока, базирующихся на снятых переходных характеристиках объекта.

Практическая ценность результатов диссертационной работы заключается:

– в построении непараметрических моделей для важнейших выходных переменных процесса котлоагрегата ТЭЦ, характеризующих значения таких переменных процесса, как температура и расход перегретого пара, в результатах расчетов, показывающих достаточно высокую точность построенных непараметрических моделей;

– в предложенной адаптивной непараметрической дуальной схеме управления процессом сжигания угля в котлоагрегате ТЭЦ, дающей возможность учитывать при управлении все имеющиеся «входные-выходные» переменные, что позволит повысить качество управления процессом;

– в использовании разработанных непараметрических моделей и алгоритмов управления при разработке автоматизированной системы управления процессом кислородно-конвертерной плавки стали.

5. Рекомендации по возможности использования результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы Копляровой Н.В. могут найти применение в компьютерных системах моделирования и управления различными технологическими объектами класса Винера или Гаммерштейна. Процессы с объектами такого типа широко представлены в различных отраслях промышленности.

Программное обеспечение может быть использовано для организации вычислительных экспериментов по моделированию и управлению при создании систем автоматизированного управления технологическими дискретно-непрерывными процессами.

В качестве мест возможного внедрения можно рекомендовать предприятия машиностроения, теплоэнергетики, нефтепереработки и другие, где при разработке АСУ ТП возникает необходимость включения в контур управления исполнительных механизмов, которые можно рассматривать как объекты класса Винера или Гаммерштейна.

6. Замечания по диссертационной работе

По представленной диссертации Копляровой Н.В. могут быть сделаны следующие замечания:

1. В соотношении (1.2.1) пропущена запятая после $\bar{\mu}(t)$, а $\bar{\mu}(t)$ на данный момент ещё не определено. На рисунках 1.5 и 1.6 и в сопровождающем

тексте по-разному представлены векторные величины. $\hat{x}_i$ – на рис 1.5, по-видимому, либо представляет собой измерение на выходе объекта, либо $\hat{x}_i$ на рисунке должно быть переставлено на выход модели. В соотношении (1.2.4) не пояснено, что означает знак $\hat{\cdot}$ в правой части соотношения.

2. На рис. 2.1 стрелка от случайного фактора, действующего в канале измерения выходного сигнала, должна быть направлена на ИУ. В тексте после рисунка случайные факторы, действующие в каналах измерения, обозначены не так, как на рисунке.
3. Пример на рис. 2.3, иллюстрирующий выбор оптимального значения размытости, скорее вызывает вопросы, так как не приведены соответствующие выборки и не указан вид функций, используемых при построении непараметрических оценок.
4. Результаты численных исследований в главе 2 приведены только при использовании ядра вида (2.5.2). Насколько критичны результаты к выбору ядра?
5. Схема на рис. 3.3 создаёт впечатление незаконченности (по сравнению с описанием).
6. Названия под рисунками 4.13–4.17 “Оценка зависимости ... от входных переменных” не совсем правомерны. Это зависимости от времени. Имеющаяся зависимость от входных переменных здесь скрыта.
7. В тексте диссертации упоминается, что некоторые программы зарегистрированы, но не указывается какие. Не говорится, как связаны эти программы с полученными основными результатами.
8. К сожалению, в тексте диссертации встречаются опечатки, чаще всего связанные с пропуском букв или с несогласованностью окончаний, иногда повторами.

Сделанные замечания имеют характер пожеланий или носят редакционный характер, не снижают научной и практической ценности диссертации и не влияют на общую положительную оценку результатов исследований.

7. Заключение о работе

Представленная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, содержит подходы к решению важной научной задачи, имеющей большую практическую значимость, и выполнена на высоком научном уровне. Представленные в работе исследования обладают научной новизной и достоверностью, все полученные выводы научно обоснованы. Основные положения диссертационной работы достаточно полно освещены в научных публикациях автора. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Вышесказанное позволяет утверждать, что диссертационная работа Копляровой Надежды Владимировны соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (космические и информационные технологии).

Отзыв заслушан, обсужден и одобрен на заседании кафедры теоретической и прикладной информатики НГТУ (протокол № 1 от 23 января 2017 г.)

Г.н.с., профессор кафедры
теоретической и прикладной информатики,
д.т.н., профессор

Лемешко Борис Юрьевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», 630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, тел. (383) 346-50-01, rector@nstu.ru, www.nstu.ru

Подпись профессора
Б.Ю. Лемешко заверяю,
начальник ОК НГТУ



Пустовалова Ольга Константиновна