

Федеральное государственное автономное  
Образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт космических и информационных технологий  
Кафедра информационных систем



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

/С.А. Виденин

\_\_\_\_\_ 2018г.

**НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**Непараметрические модели и алгоритмы дуального управления  
динамическими процессами**

09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации  
(космические и информационные технологии)

Научный руководитель

д-р. техн. наук,  
профессор

А.В. Медведев

Выпускник

А.В. Раскина

Рецензент

канд. техн. наук,  
доцент

А.Н. Пупков

Красноярск 2018

## АННОТАЦИЯ

Научно-квалификационной работы (диссертации)

Раскиной Анастасии Владимировны

**На тему: «Непараметрические модели и алгоритмы дуального управления динамическими процессами»**

**Актуальность исследования.** Одной из актуальных задач системного анализа в настоящее время является создание интеллектуальных систем идентификации и управления динамическими объектами. Данной проблеме посвящено большое количество трудов различных отечественных и зарубежных ученых. При этом можно выделить несколько подходов к идентификации динамических систем. Первый базируется на применении параметрических алгоритмов идентификации. Данная тема широко освещена в работах П. Эйкхоффа, Л. Льюнга, Я.З. Цыпкина и других авторов. В этом случае, ещё на этапе постановки задачи структура модели исследуемого процесса предполагается известной с точностью до параметров, то есть динамический объект может быть описан, например, в виде линейного дифференциального уравнения с известным порядком при старшей производной, передаточной функцией или же набором типовых звеньев и др. Следует отметить, что в большинстве случаев специалистам приходится сталкиваться с малоизученными процессами, для которых не представляется возможным подобрать параметрическую структуру модели. Таким образом, в условиях недостатка априорной информации использование параметрических алгоритмов не представляется возможными. Второй подход состоит в определении переходной и весовой функций, которые позволяют оценить поведение динамической системы как в переходном, так и в установившемся режимах. Основным недостатком данного подхода состоит в необходимости подачи на вход исследуемого объекта специальных входных сигналов. Когда проведение экспериментов по снятию переходных характеристик невозможно, то для их идентификации применяют методы, основанные на описании объекта в виде уравнения Винера-Хопфа. Основная сложность здесь состоит в решении данного уравнения. Связанно это прежде всего с трудностью получения аналитического описания корреляционных функций. При этом структура уравнения Винера-Хопфа такова, что даже небольшие ошибки при вычислении корреляционных функций приводят к существенным ошибкам при оценке импульсной переходной характеристики процесса. Следующая группа методов объединяет в себе алгоритмы позволяющие определить структуру модели динамического процесса. При этом подавляющее большинство методов отыскания оптимальной структуры сводится в конечном итоге к перебору и сравнению всех возможных вариантов модели, при этом для каждого, из этих вариантов приходится вычислять оценки параметров. При относительно большой глубине памяти

динамического процесса такой перебор, даже если он не полный является весьма трудоемкой задачей. Также следует отметить в данной области метод типовой идентификации, предложенный Н.С. Райбманом, который позволяет по виду взаимных корреляционных функций входных-выходных переменных определить вид линейного дифференциального уравнения и его коэффициенты.

Для идентификации и управления динамическими системами в условиях недостатка априорной информации целесообразным является применение непараметрической теории, которая предполагает, что известны только качественные характеристики системы. Непараметрические оценки были впервые предложены М. Розенблаттом, в дальнейшем непараметрическая теория была развита в работах Э. Парзена, Э.А. Надарая, В. Хардле, В.П. Живоглядова, А.В. Медведева, А. В. Добровидов, Г. М. Кошкин и др. В рамках данной теории были разработаны алгоритмы идентификации и управления линейными динамическими объектами, в которых для описания динамической системы используются интегралы типа свертки, более конкретно, интеграл Дюамеля. Согласно методики в дальнейшем задача сводится к непараметрическому оцениванию весовой функции системы по результатам наблюдений «входа-выхода» объекта. Впервые данное решение было предложено А.В. Медведевым. Следует отметить, что, во-первых, данный подход применим к решению задач идентификации и управления только в случае отношения исследуемой системы к классу линейных. Во-вторых, требует подачи на вход специальных сигналов для получения характеристик процесса, что невозможно в условиях нормального функционирования объекта исследования.

**Цель работы** состоит в повышении эффективности непараметрических методов для решения задач идентификации динамических систем по данным наблюдений и дуального управления динамическими системами в условиях недостатка априорной информации.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих **задач**:

- 1) выполнить анализ существующих методов решения задач идентификации и управления динамическими объектами по данным наблюдений;
- 2) разработать и исследовать непараметрический алгоритм определения структуры линейного динамического объекта с точностью до параметров;
- 3) разработать и исследовать непараметрические модели для динамических объектов в условиях недостатка априорной информации;
- 4) разработать непараметрический алгоритм дуального управления динамическими объектами, в котором при формировании управляющих воздействий учитывается порядок разностного уравнения;
- 5) подтвердить эффективность разработанных непараметрических алгоритмов для решения задач моделирования и управления динамическими объектами в ходе проведения численного исследования;

б) подтвердить практическую значимость и эффективность моделей и алгоритмов дуального управления путем моделирования процесса кислородно-конвертерной плавки стали на примере работы кислородно-конвертерного цеха №2 ОАО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат».

**Теоретическая значимость** результатов диссертационной работы состоит в том, что были разработаны, исследованы и апробированы непараметрические алгоритмы, каждый из которых был усовершенствован за счет применения алгоритма определения глубины памяти динамического процесса. Разработанные алгоритмы могут быть применимы для решения задач идентификации и управления несколькими классами динамических систем, к которым относятся одномерные и многомерные линейные динамические процессы, нелинейные процессы, объекты с памятью, имеющие циклический характер, а также неустойчивые линейные динамические процессы. Определение глубины памяти при исследовании динамического процесса позволяет значительно увеличить точность непараметрических моделей, а также повысить эффективность применения непараметрических алгоритмов дуального управления.

**Практическая значимость** результатов настоящей диссертационной работы состоит в том, что предложенные непараметрические алгоритмы идентификации и дуального управления могут быть использованы при разработке компьютерных систем моделирования и управления динамическими дискретно-непрерывными процессами в различных отраслях промышленности. Например, производства с дискретно-непрерывным характером технологического процесса, доминирующие в металлургии, энергетике, нефтехимии, стройиндустрии и т.д.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Всероссийская научно-практическая конференция творческой молодежи «Актуальные проблемы авиации и космонавтики» (Красноярск, 2014); Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Малые Винеровские чтения» (Иркутск, 2014); XVI Международная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах - 2014» (Самара, 2014); XVIII Международная научная конференция, посвященная 90-летию со дня рождения генерального конструктора ракетно-космических систем М.Ф. Решетнева (Красноярск, 2014); Международная научная конференция «Теория вероятностей, случайные процессы, математическая статистика и приложения-2015» (Минск, 2015); XVII Международная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах – 2015 (Самара, 2015); X Международная конференция «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO '15 (Москва, 2015); Computer data analysis and modeling: theoretical and applied stochastics, (Минск, 2015); Applied methods of statistical analysis. Nonparametric approach, (Новосибирск-Белокуриха, 2015); X Всероссийской научно-практической конференции «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве» (Новокузнецк, 2015), XX

Международная научная конференция, посвященная памяти генерального конструктора ракетно-космических систем М.Ф. Решетнева (Красноярск, 2016); Международная конференция, посвященная памяти академика А.В. Кряжимского «Системный анализ: моделирование и управление» (Екатеринбург, 2016).

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 20 печатных работ, в том числе 8 статей в научных изданиях Перечня ВАК, 4 - в изданиях, индексируемых в международной базе Scopus, и 8 публикаций тезисов докладов в трудах всероссийских и международных конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, заключения, списка литературы, включающего 106 наименования. Общий объем работы – 135 страницы, включая 116 рисунков и 6 таблиц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ВКР**

**Во введении** обоснована актуальность работы, определена цель и поставлены задачи исследования, рассмотрены вопросы научной новизны и практической ценности, изложены основные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** диссертационной работы посвящена рассмотрению вопросов, связанных с решением задачи идентификации некоторых классов динамических систем при различном объеме априорной информации. В главе дается общая постановка задачи и схема идентификации, характеристика основных уровней априорной информации. Приведены параметрические и непараметрические алгоритмы идентификации динамических объектов.

**Вторая глава** диссертационной работы посвящена проблеме управления динамическими процессами в условиях непараметрической неопределенности. Здесь приводятся общие сведения о задаче управления, различных типах управляющих устройств, а именно типовых регуляторах, к которым относятся П, ПИ, ПИД регуляторы, адаптивных устройств регулирования, а также некоторые сведения из теории дуального управления.

**В третьей главе** диссертационной работы исследуется процесс кислородно-конвертерной плавки стали на примере работы кислородно-конвертерного цеха №2 (ККЦ№2) подсистемы оперативного планирования выплавки, внепечной обработки и непрерывной разливки на сортовой машине углеродистой стали обыкновенного качества ОАО «ЕВРАЗ Западно-Сибирский металлургический комбинат».

**В заключении** приведены основные результаты диссертационной работы.