**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ВОРОНЕЖСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ**

**АКАДЕМИЯ**

***На правах рукописи***

**Ромасенко Александр Владимирович**

**ОПТИМАЛЬНАЯ АДАПТИВНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОДСТРАИВАЕМОЙ МОДЕЛЬЮ НА ПРИМЕРЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**Специальность: 05.13.1**8 **- Математическое моделирование, численные**

**методы и комплексы программ, в отрасли технических наук**

**ДИССЕРТАЦИЯ на соискание ученой степени кандидата технических наук**

**Научный руководитель - доктор технических наук, профессор**

**Лебедев Владимир Федосеевич**

**Воронеж - 2004**

**Введение 4**

[**Глава 1 Анализ проблемы адаптивной идентификации и управления динамическими системами** 9](#bookmark2)

1. [**Математические модели динамических систем 9**](#bookmark3)
2. [**Информационная структура динамических моделей 12**](#bookmark5)
3. **Управляемость и наблюдаемость объектов управления 15**
4. **Приведение линейной динамической системы к**

**управляемой и наблюдаемой форме 19**

1. [**Методы идентификации математических моделей 20**](#bookmark16)
2. [**Адаптивные методы идентификации и управления 24**](#bookmark17)
3. [**Адаптивные системы с подстраиваемой моделью 25**](#bookmark18)
4. [**Адаптивные системы с эталонной моделью 27**](#bookmark19)
5. [**Анализ методов адаптации 29**](#bookmark20)
6. **Синтез адаптивной системы с подстраиваемой**

**динамической моделью 30**

1. **Синтез адаптивной системы с эталонной динамической моделью 33**
2. [**Постановка задачи диссертационного исследования 35**](#bookmark24)

[**Выводы 38**](#bookmark28)

[**Глава 2 Решение задачи оптимальной адаптивной идентификации 40**](#bookmark29)

1. **Оптимизация настраиваемой динамической модели**

**(непрерывный вид) 40**

1. **Оптимизация настраиваемой динамической модели**

**(дискретный вид) 45**

1. [**Методика решения оптимальной адаптивной идентификации 46**](#bookmark43)

[**Выводы 49**](#bookmark44)

[**Глава 3 Численные методы решения и устойчивость 51**](#bookmark45)

* 1. **Решение задачи оптимальной адаптивной модели линей­ной нестационарной системы с использованием функций Уолша... 51**
		1. **Анализ нестационарных систем с использованием**

**функций Уолша 53**

* + 1. [**Решение задачи оптимальной адаптивной модели линейной нестационарной системы 56**](#bookmark46)
		2. [**Решение задачи оптимальной адаптивной модели линейной системы с постоянными коэффициентами 58**](#bookmark49)
		3. **Решение уравнения Риккати с использованием**

**функций Уолша 60**

* 1. [**Методика расчета по разработанному методу 62**](#bookmark59)

**\***

* 1. [**Исследование устойчивости системы 63**](#bookmark60)
		1. [**Устойчивость по Ляпунову 64**](#bookmark61)

[**Выводы** 66](#bookmark62)

[**Глава 4 Оптимальная идентификация и оптимальное управление процессом получения дивинил-стирольных термоэластопластов** 68](#bookmark63)

1. **Математические модели процесса получения**

**дивинил-стирольных термоэластопластов** 68

**\* 4.1.1 Математическая модель синтеза дивинил-**

**стирольных термоэластопластов 69**

1. **Преобразование математической модели дивинил-**

**стирольных термоэластопластов к динамической модели 72**

1. [**Установление адекватности математической модели 79**](#bookmark69)
2. [**Моделирование и оптимальная идентификация 81**](#bookmark71)
3. [**Моделирование замкнутого адаптивного управления** 86](#bookmark72)
4. [**Анализ качества регулирования 100**](#bookmark80)

[**Выводы 102**](#bookmark81)

**ф Заключение 103**

[**Библиографический список 104**](#bookmark82)

**Приложение 118**

**Актуальность темы. Современный уровень информационных и управ­ляющих систем в значительной мере определяется эффективностью методов и средств информационного и математического обеспечений, среди которых важное значение отводится методам идентификации математических моде­лей динамических систем.**

**Интенсивное развитие методов идентификации обусловлено с одной стороны возрастающими возможностями средств вычислительной техники, а с другой стороны системным подходом к решению этой проблемы, вклю­чающим информационные, структурные и математические аспекты анализа, которые составляют основу адаптивных методов идентификации.**

**Значительные успехи достигнуты в разработке адаптивных методов идентификации многомерных линейных нестационарных динамических сис­тем на основе введения в замкнутый контур системы управления дополни­тельного контура адаптации с подстраиваемой моделью. Используя переда­точные матрицы, методы анализа устойчивости на основе функции Ляпуно­ва, при дополнительных допущениях показана асимптотическая сходимость процесса идентификации. Проведенный анализ методов идентификации по­казал, что наряду с известными подходами представляется целесообразном выполнить разработку адаптивного метода идентификации в постановке, аналогичной задачи оптимального управления в которой управляющими пе­ременными в контуре адаптации являются информационные структуры: мат­рицы, содержащие векторные функции состояния и управления. Такой под­ход обладает преимуществами так как, дает возможность осуществлять оп­тимальный процесс адаптивной идентификации и выявить существенную роль информационной составляющей к структуре и уровню сигналов возбу­ждения в контуре адаптации. Актуальность предлагаемого подхода опреде­**

**ляется практической необходимостью повышения оперативности и качества идентификации и как следствие адаптивных систем управления.**

**В данной диссертационной работе проведена разработка метода пара­метрической оптимальной идентификации многомерной нестационарной адаптивной подстраиваемой модели управляемого объекта и моделирования адаптивного контура управления с подстраиваемой моделью. Проведено ис­следование информационных процессов адаптации, удовлетворяющих усло­виям наблюдаемости и идентифицируемости, обеспечивающих параметри­ческие оценки, разработан пакет программ с использованием инструмен­тальных средств интегрированных программных систем компьютерной ма­тематики, осуществляющих моделирование замкнутой адаптивной системы управления с подстраиваемой моделью многомерным нестационарным объ­ектом.**

**Диссертация выполнена на кафедре информационных и управляющих систем Воронежской государственной технологической академии в соответ­ствии с планом госбюджетных научно-исследовательских работ по теме: «Разработка и совершенствование алгоритмов, моделей, средств и систем управления технологическими процессами (химическая и пищевая промыш­ленность)»**

**Цель и задачи исследования. Целью работы является исследование и математическое моделирование идентификации и оптимальной адаптации подстраиваемой модели в системе управления многомерным нестационар­ным объектом.**

**Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи исследования:**

1. **Разработать методику идентификации нестационарной многомерной динамической математической модели обеспечивающей оптималь­ность обобщенному матричному среднеквадратическому критерию;**
2. **Разработать метод моделирования оптимальной идентификации па­раметров математической модели многомерного линейного неста­ционарного объекта;**
3. **Разработать алгоритмы и программы, реализующие разработанные методики моделирования оптимальной адаптивной системы;**
4. **Произвести апробацию полученных результатов на примере неста­ционарного процесса синтеза дивинил-стирольных термоэластопла­стов.**

**Методы исследования. При выполнении диссертационной работы применялись: теория автоматического управления, теория оптимальных и адаптивных систем, алгебра матриц, методы математического моделирова­ния и информационной теории идентификации, инструментальные средства интегрированных программных систем компьютерной математики.**

**Научная новизна работы: В диссертационной работе получены сле­дующие результаты, характеризующиеся научной новизной: й**

* **метод моделирования оптимальной идентификации многомерной неста­ционарной адаптивной подстраиваемой модели на основе распростране­ния принципа максимума, в котором функциями управления являются информационные переменные;**
* **методика моделирования процесса идентификации с использованием ин­струментальных средств компьютерной математики с учетом информаци­онной наблюдаемости и идентифицируемости;**
* **алгоритмы решения граничной задачи оптимизации нестационарной сис­темы с учетом матричных переменных состояния;**
* **методика решения задачи оптимизации, особенностью которой является использование ортогональных полиномов, преобразующих исходную сис­тему уравнений к матричной алгебраической форме;**
* **методика преобразования кинетической модели технологического про­цесса заданной в виде системы нелинейных нестационарных дифферен­циальных уравнений к системе в виде линейных нестационарных уравне­ний.**

**Практическая значимость. Результаты работы (теоретические поло­жения, методики решения практических задач и выводы) могут быть исполь­зованы для повышения эффективности работы существующих и разработке новых систем управления многомерными нестационарными процессами в условиях действия неконтролируемых возмущений. Практическое значение имеют результаты, позволяющие получать более эффективные и простые ал­горитмы управления многомерными нестационарными объектами, а также разработанные алгоритмы и комплексы программ. Комплекс алгоритмов и программ можно рекомендовать проектным организациям для разработки оптимальных адаптивных замкнутых систем управления многомерными не­стационарными процессами, а также предприятиям химической и нефтехи­мической отрасли для оперативной настройки адаптивных систем управле­ния.**

**Апробация работы. Основные результаты по теме диссертационной работы доложены на II Всероссийской конференции «Теория конфликта и её приложения» (г. Воронеж) 2002 г., отраслевых конференциях по метрологии и автоматизации в нефтехимической и пищевой промышленности (г. Воро­неж) 2002, 2003 г.г., III Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные электромеханические устройства, системы и комплек­сы» (г. Новочеркасск) 2002 г., IV международная научная-техническая кон­ференция «Кибернетика и технология XXI века» (г. Воронеж) 2003 г., а так­же на научных конференциях профессорско-преподавательского состава и научных работников ВГТА, 2002 — 2004 г.г.**

**Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано** 11 **работ, в том числе 5 статей, патент РФ.**

**%**

**%**

**\***

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 103 страницах, включает 11 таблиц и 25 рисунков; состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 153 наименований и приложения.

**Выводы**

**В данной главе проведено исследование математических моделей про­цессов полимеризации. Произведена апробация методики оптимальной идентификации адаптивной подстраиваемой динамической модели. В каче­стве объекта экспериментальной апробации выбран процесс синтеза диви­нил-стирольных термоэластопластов. На основе исследований методов соз­дания моделей процессов в химической и нефтехимической отраслях, а так­же моделей процессов полимеризации получены уравнения, связывающие основные показатели процесса.**

**Технологический процесс синтеза двинил-стирольных термоэластопла­стов в окрестности установившегося состояния можно аппроксимировать линейной динамической моделью, как и большинство технологических про­цессов, Квазистационарный объект управления можно рассматривать как стационарный на отдельных интервалах времени, с последующей корректи­ровкой его модели, путем идентификации её параметров. Исходя из данных предположений, была получена динамическая модель многомерной неста­ционарной системы.**

**Процесс синтеза дивинил-стирольных термоэластопластов характери­зующегося нестационарностью в условиях действия неконтролируемых возмущений. На основе анализа возможных возмущений на данный техноло­гический процесс составлена модель действующих возмущений.**

**На основе полученных результатов произведено моделирование замкну­того адаптивного контура управления с подстраиваемой моделью.**

**В диссертационной работе решена актуальная задача разработки метода оптимальной идентификации многомерной нестационарной адаптивной под­страиваемой модели в системе управления, а также апробация разработан­ных методик.**

**Основные результаты теоретических и экспериментальных исследова­ний:**

1. **Разработана методика идентификации многомерной нестационарной адаптивной подстраиваемой модели обеспечивающая получение оптималь­ных оценок.**
2. **Разработана методика решения задачи оптимизации, с использовани­ем ортогональных полиномов, позволяющих преобразовать исходную сис­тему уравнений с переменными параметрами к матричной алгебраической форме.**
3. **Разработаны комплекс алгоритмов и программ, позволяющие произ­водить информационный анализ и исследование как отдельных частей сис­темы управления нестационарным процессом, так и всей системы управле­ния в целом.**
4. **Разработана методика преобразования кинетической модели техно­логического процесса заданной в виде системы нелинейных нестационарных дифференциальных уравнений к системе линейных динамических нестацио­нарных уравнений, что существенно упрощает синтез адаптивной системы.**
5. **Произведена апробация разработанных методик на примере процесса синтеза дивинил-стирольных термоэластопластов, что показало повышение быстродействия и точности вычислений.**