

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 681.513.3.015

АХМЕД НАСЕР ТАХЕР

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБАСТНЫХ СИЛОВЫХ СЛЕДЯЩИХ
СИСТЕМ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ
ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ**

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук
по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление
и обработка информации

Минск, 2012

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель: **Ганэ Вадим Арведович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационные системы и технологии» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты: **Кузнецов Александр Петрович**, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Посудевский Александр Андреевич, кандидат технических наук, доцент, главный научный сотрудник ООО «ОКБ-ТСП»

Оппонирующая организация: Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Защита состоится «27» декабря 2012 г. в 16⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций К 02.05.01 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости 65, тел. (017) 293-96-64, E-mail: gurski2010@gmail.com.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «23» ноября 2012 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент

Н.Н. Гурский

© Ахмед Насер Тахер, 2012
© Белорусский национальный
технический университет, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Высокоточные следящие силовые системы нашли применение как исполнительные части систем автоматического слежения по направлению (АСН) комплексов техники специального назначения. Особенности применения силовых систем являются: построение регуляторов на базе нестационарных функционально-необходимых элементов, наличие естественных возмущений, влияющих на точность.

Необходимость высокоточного углового сопровождения в нестационарных условиях параметрических и внешних возмущений, длительное время эксплуатации комплексов (десятки лет), совершенствование средств противодействия актуализируют необходимость глубокой модернизации АСН. Актуальной задачей является модернизация силовой системы в части снижения чувствительности критерия качества – точности, характеризуемой суммарной ошибкой слежения, к нестационарным параметрическим (пертурбациям) и внешним возмущениям. В теории управления такая задача решается аналитическим построением – конструированием, так называемых робастных (малочувствительных и в этом смысле – «грубых») систем.

Большинство результатов по синтезу робастных регуляторов получено по критерию робастной устойчивости. Для постановок задач по робастной устойчивости и методов их решения характерен интервально-стационарный метод, ориентированный только на пертурбации и интервально-стационарные параметрические условия. Указанные ограничения «снимаются» интервально-нестационарным подходом. При этом эффект робастизации достигается в условиях возможных интервальных изменений внутренних параметров системы и внешних воздействий по известным из опыта эксплуатации детерминированным законам. Критериальные акценты построения регуляторов «смещаются» в сторону качества – точности управления (суммарной ошибки как суперпозиции динамической ошибки и ошибки по возмущению). Эффективность робастизации может быть оценена по динамике суммарной ошибки слежения как функции чувствительности.

Диссертационная работа посвящена аналитическому конструированию и моделированию высокоточной робастной электромеханической силовой следящей системы с оценкой точности функционирования и эффекта робастизации.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Согласно Перечню приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2011 – 2015 годы, утвержденному 19 апреля 2010 г. Советом Министров Республики Беларусь (Постановление № 585), диссертационная работа относится к направлению «Методы, средства и технологии обеспечения высоких тактико-технических характеристик перспективных образцов бортовой аппаратуры авиационной и ракетно-космической техники, конструкций авиационных и космических аппаратов, систем управления и приема-передачи авиационной и космической информации», предусмотренному формулой специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации в области исследований «Разработка критериев, моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации».

Основой диссертационной работы являются исследования, проведенные автором в 2008 – 2012 гг. в Белорусском национальном техническом университете на кафедре «Информационные системы и технологии» по теме «Программное и информационное обеспечение технологии дистанционного обучения ГБ 06 – 211, раздел Анализ эффективности и повышение качества систем управления».

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является структуризация моделей робастных электромеханических высокоточных силовых следящих систем и оценка эффективности функционирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Обосновать и структурировать математическую модель дискретной системы управления, робастной по отношению к неизмеримым нестационарным параметрическим и внешним возмущениям.
2. Структурировать модели типовых нестационарных детерминированных пертурбаций, внешних и обобщенного возмущений в классе регулярных процессов.
3. Структурировать модели фильтров предсказания и поглощения для типовых нестационарных обобщенных возмущений с известной динамикой из опыта эксплуатации высокоточных силовых следящих систем.
4. Провести моделирование робастной силовой следящей системы с оценками точности функционирования и эффекта робастизации по отношению к неизмеримым нестационарным детерминированным возмущениям

Объект исследования – высокоточная электромеханическая силовая следящая система.

Предмет исследования – математические модели и структура

робастного, по отношению к нестационарным пертурбациям и внешним возмущениям, управляющего устройства. Выбор данных объекта и предмета исследований обусловлен необходимостью модернизации силовой исполнительной части системы автоматического слежения по направлению в составе комплекса техники специального назначения с целью повышения эффективности функционирования.

Положения, выносимые на защиту:

1) структурированная дискретная математическая модель робастной по отношению к нестационарным пертурбациям и внешним возмущениям следящей системы, основанная на принципе поглощения обобщенного возмущения и приближения качества управления к номинальной системе как к эталонной модели;

2) структуры фильтров предсказания и поглощения типовых обобщенных возмущений, использующие математические модели нестационарных пертурбаций и внешних возмущений в классе детерминированных регулярных процессов, и результаты моделирования;

3) дискретная математическая модель высокоточной электромеханической силовой следящей системы, робастной по отношению к неизмеримым изменениям коэффициента преобразования прямой цепи системы и внешним возмущениям;

4) сравнительные результаты моделирования эффективности и робастности управления, приближающие точность слежения в условиях нестационарных возмущений в системе с робастным регулятором к качеству управления в эталонной - номинальной системе.

Личный вклад соискателя

Основные результаты и положения, выносимые на защиту, получены лично автором. Математические модели и структуры регуляторов робастного управления, обсуждаемые в работе, аналитически исследованы и промоделированы автором самостоятельно. Научный руководитель и соавторы совместных работ принимали участие в постановке цели и задач исследования, их предварительном анализе, а также в обсуждении полученных результатов.

Апробация результатов диссертации

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях: VII, VIII и X Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» (Минск, 2009, 2010, 2012 гг.); IV Международной научно-практической конференции «Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси» (Пинск, 2010 г.); VIII и IX Белорусско-российской научно-технической конференции «Технические средства защиты информации» (Нарочь, Беларусь, 2010, 2011 гг.).

Опубликованность результатов диссертации

По материалам диссертации опубликовано 12 работ: 5 статей в научных журналах, 5 статей в сборниках материалов международных научных конференций, 2 тезиса докладов на международных и республиканских научных конференциях.

Общий объем публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоения ученых званий в Республике Беларусь, составляет 1,9 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, трех глав с выводами по каждой главе, заключения и библиографического списка. Во введении показана актуальность темы диссертационной работы, дается обоснование круга рассмотренных вопросов. В первой главе приводится обзор основных методов теории робастной устойчивости и стабилизации для систем управления в условиях нестационарных изменений параметров и характеристик возмущений и возможности повышения качества управления без организации дополнительных измерительных каналов. Обосновывается постановка задачи робастизации электромеханической силовой следящей системы по отношению к изменяющимся параметрам и характеристикам возмущений, в том числе нестационарного характера. Во второй главе разработана методика построения робастных следящих систем при нестационарных возмущениях. В третьей главе приведены результаты моделирования эффективности силовых следящих систем при регулярных возмущениях.

Общий объем диссертационной работы составляет 123 страниц, из которых 93 страниц текста, 39 рисунков на 18 страницах, 1 таблица на 1 странице, библиографический список из 137 источника и 12 собственных публикаций автора на 11 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируется цель работы, ее научная новизна, степень достоверности результатов, изложенных в диссертации, а также отмечаются основные теоретические и практические результаты диссертационной работы.

В первой главе представлен краткий обзор основных методов теории робастной устойчивости и стабилизации для систем управления. Обосновывается необходимость в разработке конструктивных методов робастного управления при не измеримых нестационарных детерминированных возмущениях. Обосновывается постановка задачи робастизации высокоточной электромеханической силовой следящей системы по отношению к изменяющимся параметрам и характеристикам внешних возмущений,

изложены основные понятия, на которые опираются разрабатываемые в диссертации методы.

При анализе литературы по теме диссертационной работы основные результаты получены для следующих направлений исследований: определение структуры робастной системы, включающей функционально-необходимые элементы и связи; выбор номинальной системы как эталонной модели функционирования. Приведена структурная схема математической модели электромеханической силовой следящей системы. Определены нестационарные возмущения, существенно влияющие на качество установившихся режимов работы системы: коэффициенты преобразования усилительно - преобразовательных элементов, момент инерции, приведенный к валу двигателя, возмущение по выходу углового дискриминатора, обусловленное уводящей по направлению помехой. Приведена структура робастной системы в виде многоконтурной математической модели.

Во второй главе рассмотрены общие принципы построения робастных следящих систем (рисунок 1), в которых проблема чувствительности системы управления к возмущающим воздействиям решается путём подавления фильтром поглощения возмущения, априорно учитывающего информацию о возмущающем воздействии.

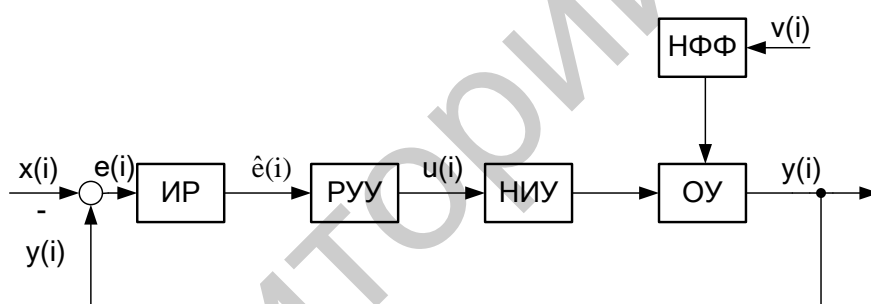


Рисунок 1 – Функциональная схема робастной следящей системы:
ИР – измеритель рассогласований, **РУУ** – робастное управляющее устройство,
НИУ – нестационарное исполнительное устройство, **НФФ** – нестационарный формирующий фильтр внешних возмущений $v(t)$,
ОУ – объект управления

Принцип поглощения заключается в синтезе фильтра поглощения, реакция которого на обобщенное возмущение, обусловленное параметрическими и внешними возмущениями, равна нулю.

Обобщенное возмущение определяется суммой параметрического и внешнего возмущений

$$\varphi(i) = \varphi_v(i) + \varphi_n(i), \quad (1)$$

где $\varphi_v(i)$ – внешнее возмущение;

$\varphi_n(i)$ – параметрическое возмущение (пертурбации).

Методика синтеза фильтров поглощения детерминированных обобщенных возмущений следующая:

1. Определяются аналитические выражения в рекуррентной форме для детерминированного обобщенного возмущения на текущий и предыдущий моменты времени.

2. Определяются изображения детерминированных обобщенных возмущений на текущий и предыдущий моменты дискретного времени.

3. Определяется полином предсказания детерминированного обобщенного возмущения.

4. Структурируется фильтр поглощения детерминированного обобщенного возмущения.

Полиномы предсказания и поглощения для типовых детерминированных обобщенных возмущений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Полиномы предсказания и поглощения типовых детерминированных обобщенных возмущений

$\varphi(i)$	$D_0(z)$	$W(z)$
1	1	$1 - z^{-1}$
i	$\frac{z^{-1}}{2z^{-1} - 1}$	$1 - 2z^{-1} + z^{-2}$
i^2	$\frac{z^{-1}(1 + z^{-1})}{z^{-1}(1 + z^{-1}) - 2z^{-1}(1 - z^{-1}) + (1 - z^{-1})^2}$	$1 - 3z^{-1} + 3z^{-2} - z^{-3}$
i^3	$\frac{z^{-1}(1 + 4z^{-1} + z^{-2})}{4z^{-1} - 5z^{-2} + 8z^{-3} - 1}$	$1 - 4z^{-1} + 6z^{-2} - 4z^{-3} + z^{-4}$
$\sin(\omega \cdot i)$	$\frac{z^{-1}}{2z^{-1} \cos(\omega) - 1}$	$2z^{-1} \cos \omega - 1 - z^{-2}$
e^{-ia}	e^{-a}	$e^a - z^{-1}$

Структурно решение задачи робастной коррекции приводит к образованию дополнительного локального контура управления. Он образуется робастной корректирующей обратной связью (рисунок 2), охватывающей исполнительную часть прямой цепи исходной системы.

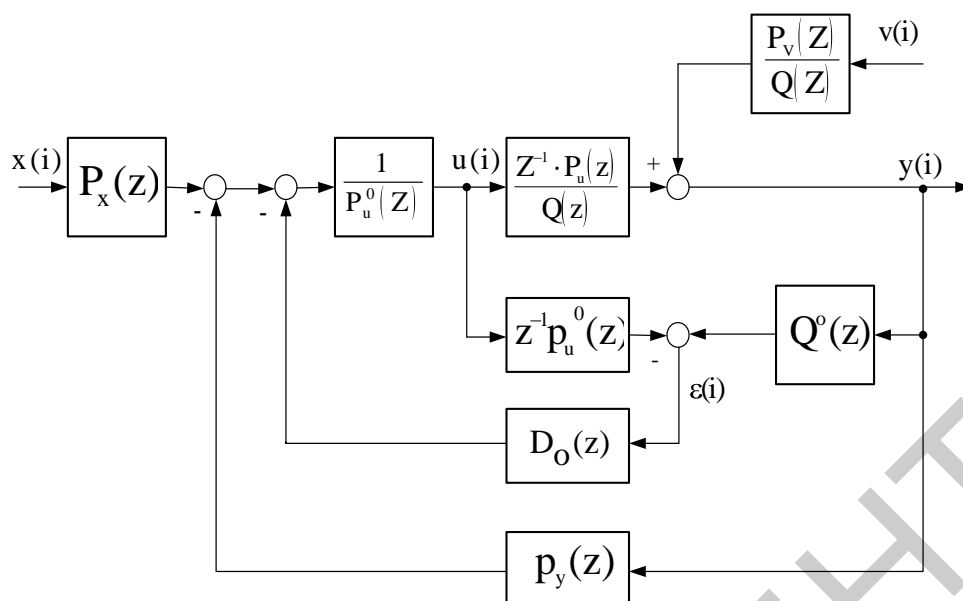


Рисунок 2 – Структурная схема системы с робастной корректирующей обратной связью

Локальный контур управления включает в свой состав модель номинальной системы (полиномы $P_u^0(z)$ и $Q^0(z)$), вырабатывающие «невязку» $\varepsilon(i)$, и полином предсказания обобщенного возмущения. Параметры номинальной модели неизменны. За счет робастной корректирующей обратной связи следящая система становится наделенной робастными свойствами по отношению к нестационарным неконтролируемым изменениям параметров системы и характеристик внешних возмущений.

Разработаны методики синтеза фильтров поглощения детерминированных обобщенных возмущений в классе регулярных процессов. Получены математические модели полиномов предсказания и полиномов поглощения типовых детерминированных и случайных возмущений в классе регулярных процессов. Получены и табулированы дискретные передаточные функции и изображения разностных уравнений для формирующих фильтров предсказания и фильтров поглощения для детерминированных аппроксимаций обобщенного возмущения (скачкообразного, линейно и квадратично - изменяющегося, изменяющегося по кубическому, гармоническому и показательному законам – см. таблицу 1). Приведены структурные схемы полиномов поглощения как элементы робастизации, а также структурные схемы робастных систем, отличающиеся различными степенями обобщения.

В третьей главе приведены результаты моделирования по структурным схемам в среде MATLAB формирующих фильтров детерминированных обобщенных возмущений в классе регулярных процессов.

Полиномы поглощения детерминированных обобщенных возмущений определяются по полиномам предсказания

$$W(z) = [1 - z^{-1}D_0(z)], \quad (2)$$

где $D_0(z)$ - полином предсказания детерминированного обобщенного возмущения.

При постоянном воздействии значение единичного обобщенного возмущения имеет вид

$$\varphi(i) = 1. \quad (3)$$

Условие поглощения $W(z) \cdot \varphi(i) = 0$ выполняется.

Входной и выходной процессы фильтра поглощения единичного обобщенного возмущения представлены на рисунке 3, а. Результат моделирования полинома поглощения по критерию $W(z) \cdot \varphi(i) = 0$, когда обобщенное возмущение изменяется по линейному закону $\varphi(i-1) = i-1$, представлен на рисунке 3, б:

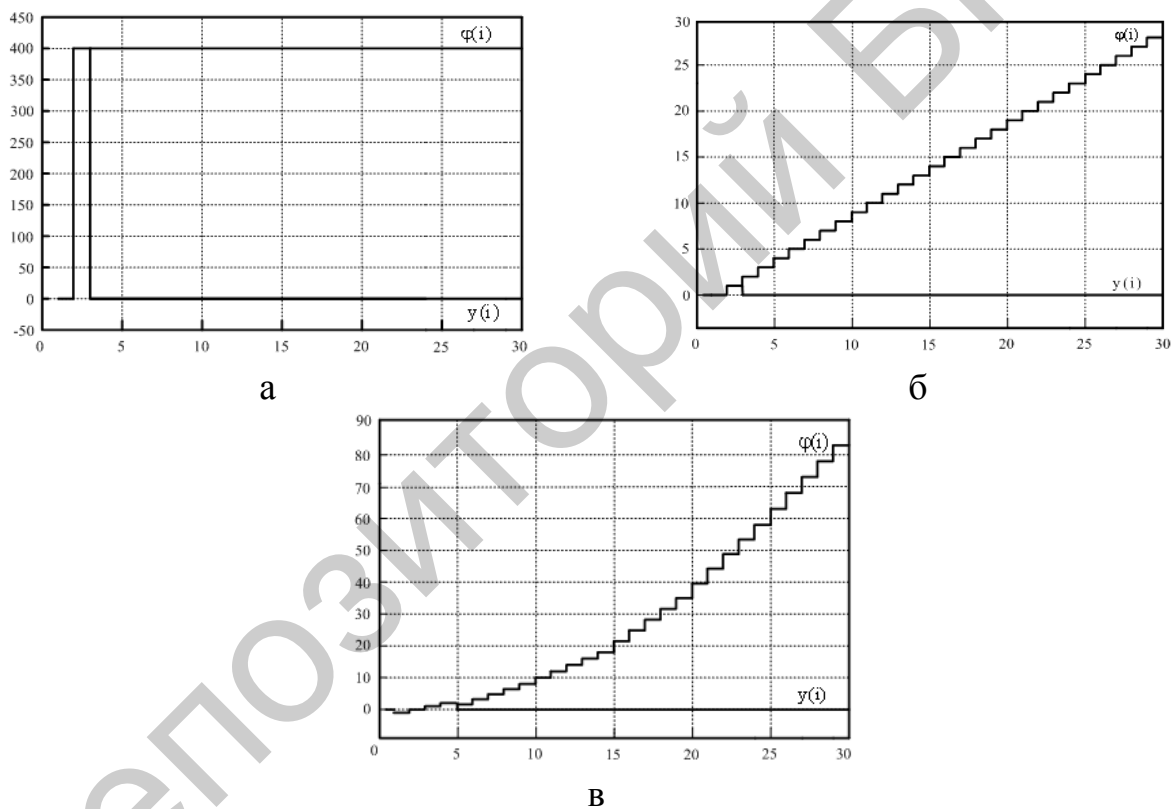
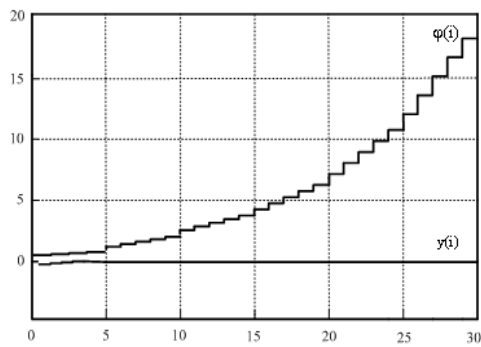
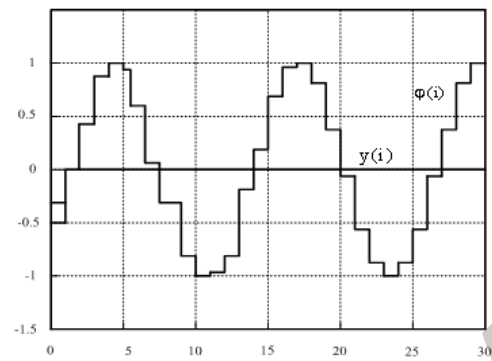


Рисунок 3 – Процессы на входе и выходе фильтра поглощения обобщенного возмущения: а – постоянного возмущения, б – линейно изменяющегося во времени, в – изменяющегося по квадратичному закону

Результат моделирования полинома поглощения по критерию $W(z) \cdot \varphi(i) = 0$, когда обобщенное возмущение изменяется по квадратичному закону $\varphi(i) = i^2$, представлен на рисунке 3, в.



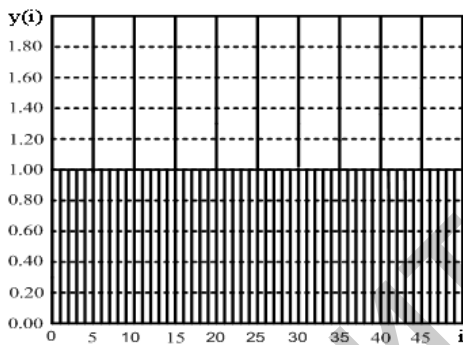
а



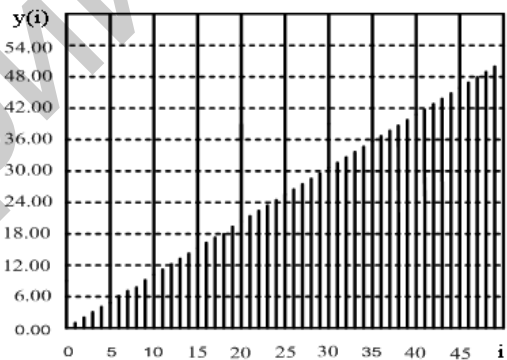
б

Рисунок 4 – Процессы на входе и выходе фильтра поглощения обобщенного возмущения: а – изменяющегося по экспоненциальному закону, б – изменяющегося по гармоническому закону

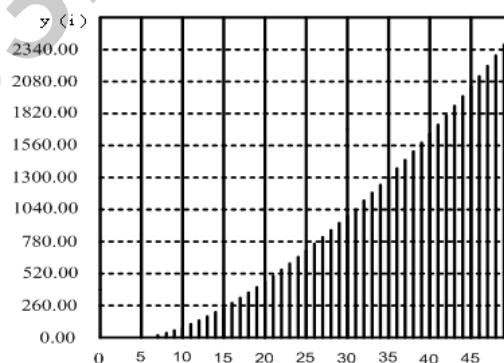
Получены структуры фильтров поглощения и приведены результаты моделирования для обобщенного возмущения, изменяющегося по экспоненциальному закону $\varphi(i) = e^{-ia}$ и гармоническому $\varphi(i) = \sin(\omega i)$ законам (рисунок 4, а и 4, б соответственно).



а



б



в

Рисунок 5 –Формирование однородным разностным уравнением воздействия: а – единичного, б – линейного, в – квадратичного

Моделирование формирующих фильтров для обобщенных возмущений, изменяющихся по типовым детерминированным законам, представлено на рисунках 5, а – в.

Результат формирования единичного воздействия однородным разностным уравнением $\varphi(i) - \varphi_1(i) = 0$ при начальных условиях $\varphi(i) = 1$ - рисунок 5, а, линейного воздействия однородным разностным уравнением $\varphi(i) - 2\varphi(i-1) + \varphi(i-2) = 0$ при начальных условиях $\varphi_1(i) = i-1; \varphi_2(i) = i-2$ - рисунок 5, б, квадратичного воздействия однородным разностным уравнением $\varphi(i) - 3\varphi(i-1) + 3\varphi(i-2) - \varphi(i-3) = 0$ при начальных условиях $\varphi_1(i) = (i-1)^2; \varphi_2(i) = (i-2)^2; \varphi_3(i) = (i-3)^2$ - рисунок 5, в.

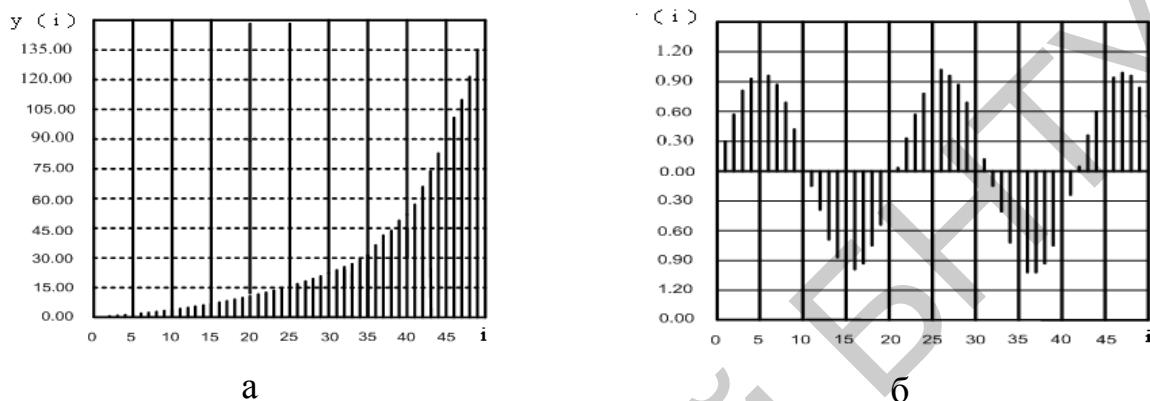


Рисунок 6 – Формирование однородным разностным уравнением воздействия: а – экспоненциального б – гармонического

Результат формирования экспоненциального воздействия однородным разностным уравнением $e^a \cdot \varphi(i) - \varphi(i-1) = 0$ при начальных условиях $\varphi_1(i) = e^{-(i-1)a}$ представлен на рисунке 6, а, гармонического воздействия однородным разностным уравнением $2\varphi(i) \cdot \cos(\omega) - \varphi(i) - \varphi(i-2) = 0$ при начальных условиях $\varphi_1(i) = \sin(\omega(i-1)); \varphi_2(i) = \sin(\omega(i-2))$ представлен на рисунке 6, б.

Математическое моделирование и анализ качества функционирования робастной системы при детерминированном обобщенном возмущении проведено на примере силовой следящей системы. Передаточная функция исполнительской части силовой системы представлена в виде инерционного пропорционально - интегрирующего регулятора (ПИ-регулятора):

$$K_{ич}(p) = \frac{K_{ич}}{p \cdot (1 + T_m \cdot p)} \quad (4)$$

где $K_{ич}$ – коэффициент преобразования исполнительской части силовой системы;

T_m – механическая постоянная времени исполнительского двигателя.

Структурная схема силовой следящей системы, составленной из функционально-необходимых элементов (ФНЭ), в линейном приближении представлена на рисунке 7.

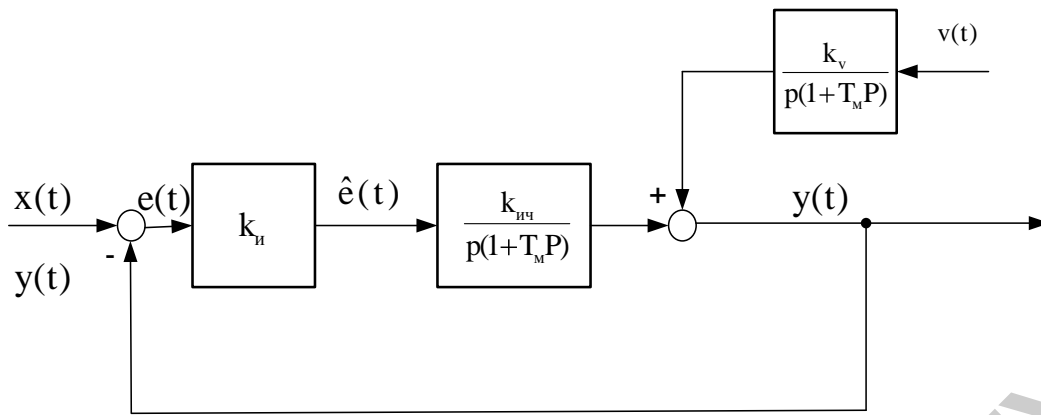


Рисунок 7 – Структурная схема силовой следящей системы, составленной из функционально-необходимых элементов

В качестве параметрического возмущения (пертурбаций) выбрано нестационарное изменение коэффициента преобразования исполнительской части $K_{нч}$, а внешнего возмущения $v(i)$ – изменение момента нагрузки двигателя постоянного тока. Нестационарное возмущение, обусловленное постановкой уводящей по направлению помехи, учитывалось по выходу модели. На рисунке 8 представлена дискретная модель электромеханической системы, составленной из функционально-необходимых элементов.

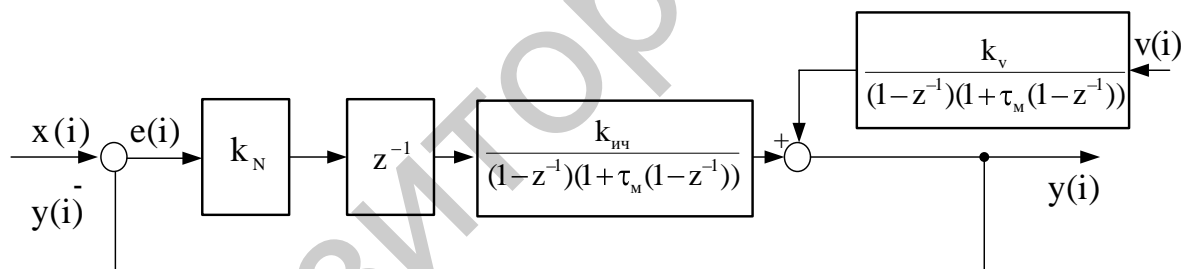


Рисунок 8 – Структурная схема дискретной силовой следящей системы, составленной из функционально-необходимых элементов

Для обеспечения заданных динамических свойств силовых следящих систем в качестве закона управления выбирается пропорциональный интегро-дифференцирующий закон управления (ПИД – управление), который реализуется в «штатных» силовых следящих системах путем охвата нестационарных элементов корректирующей и стабилизирующей обратными связями (рисунок 9).

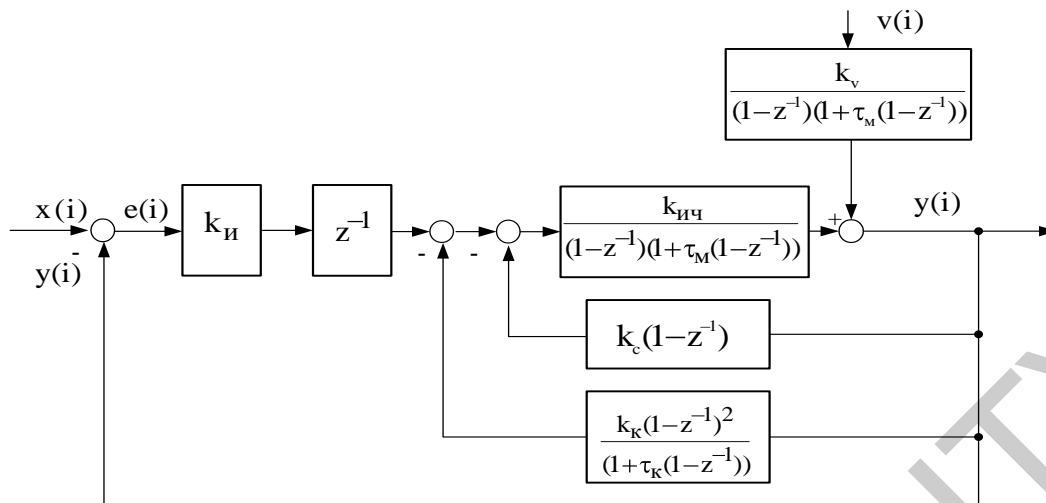


Рисунок 9 – Структурная схема дискретной модели «штатной» силовой следящей системы

Структурная схема робастной силовой следящей системы изображена на рисунке 10.

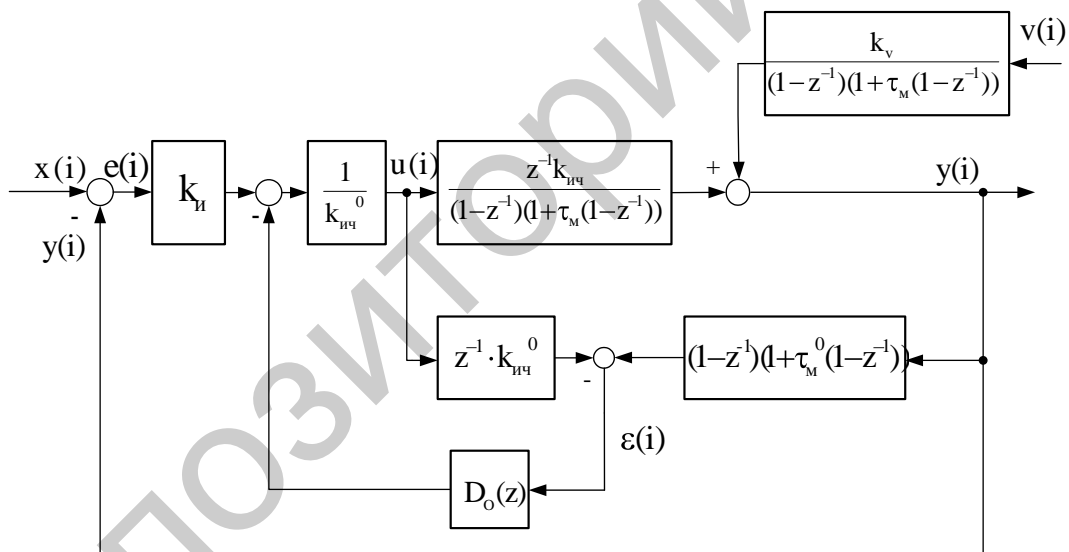


Рисунок 10 – Структурная схема робастной силовой следящей системы

При определении полиномов предсказания и поглощения, осуществляющих «компенсацию» параметрических и внешних возмущений, использовалось описание робастной силовой следящей системы с робастизирующими обратными связями следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} (1 - z^{-1})(1 + \tau_m(1 - z^{-1}))y(z) &= z^{-1}K_{ич}(z)u(z) + \delta K_v(z)v(z), \\ u(z) &= \frac{((x(z) - y(z))K_{и} - \varepsilon(z)D_0(z))}{K_{ич}^0}, \\ \varepsilon(z) &= (1 - z^{-1})(1 + \tau_m(1 - z^{-1}))y(z) - z^{-1}K_{ич}^0 u(z). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

При моделировании в среде MATLAB использовались следующие параметры непрерывной части силовой следящей системы:

$$\begin{aligned} K_{и} &= 291[\text{В/рад}]; & K_{фчв} &= 0,1; & K_y &= 800; & K_{эму} &= 4,26; \\ K_d &= 2,94[\text{рад/В} \cdot \text{с}]; & K_p &= 6,2 \cdot 10^{-4}; & T_m &= 0,02 \text{ с}. \end{aligned}$$

При этом коэффициент преобразования прямой цепи системы $K=180 \text{ с}^{-1}$, а механическая постоянная времени $T_m=0,02 \text{ с}$. Выберем период дискретизации времени $T_{п}=0,01 \text{ с}$. В этом случае коэффициент преобразования прямой цепи дискретной системы $K \cdot T_{п}=1,8$, а механическая постоянная $\tau_m = 2$.

Объект управления – антенна массой 1,5 т., исполнительный двигатель постоянного тока с независимым возбуждением типа МИ – 42 с номинальной мощностью 3,2 кВт, электромашинный усилитель ЭМУ – 50, сельсинная измерительная пара НД 501 – БС405.

На рисунке 11 введены обозначения: ФНЭ – ошибка в силовой следящей системе, состоящей из функционально-необходимых элементов, Ш – ошибка в «штатной» (скорректированной) силовой следящей системе и Р – ошибка в робастной силовой следящей системе.

При подаче на силовую систему возмущающего воздействия, изменяющегося по линейному или квадратичному законам, «невязка» в силовой системе также изменяется по линейному или квадратичному законам.

Зависимости ошибок по возмущениям в силовых системах при постоянном, линейном и квадратичном возмущающих воздействиях представлены на рисунках 11, а, б и в соответственно.

Анализ ошибок по возмущениям в силовых системах показывает, что силовая система, состоящая из функционально-необходимых элементов, и «штатная» силовая система подвержены воздействиям внешних возмущений, которые существенно ухудшают качество их работы. Использование фильтров поглощений в робастной силовой системе позволяет производить компенсацию внешних возмущений.

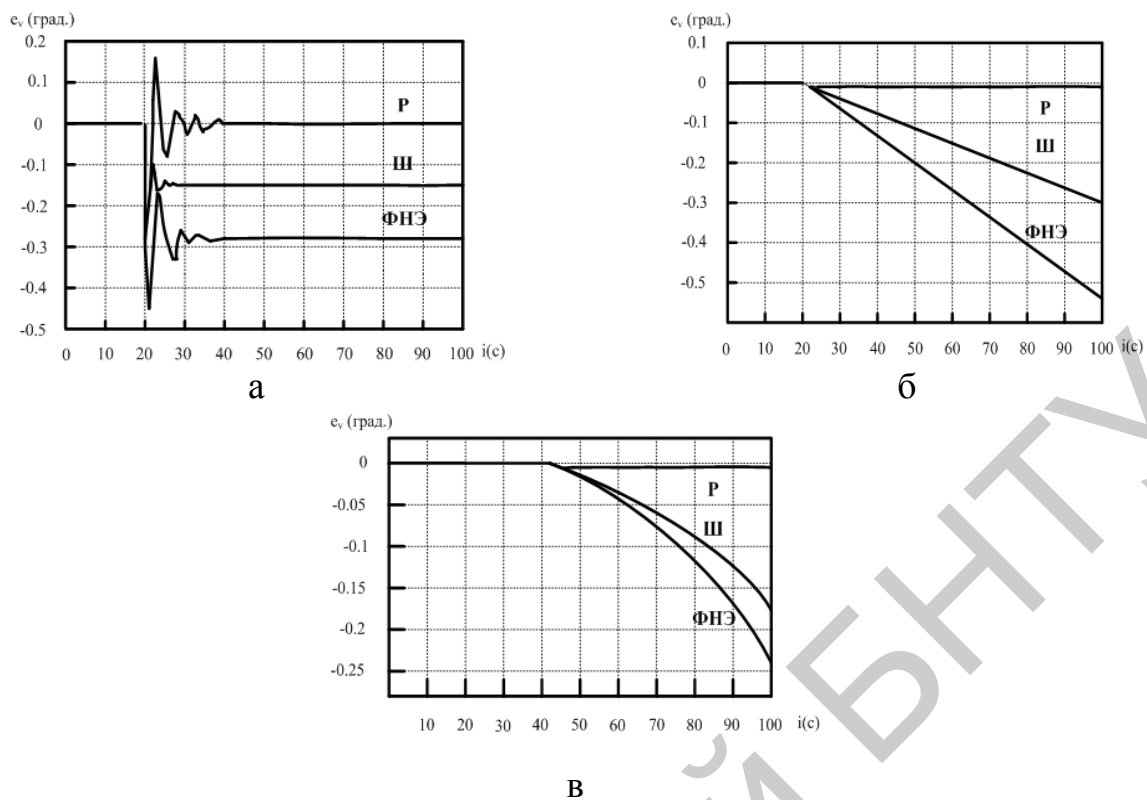


Рисунок 11 – Ошибки по возмущениям в силовых системах при возмущающем воздействии: а – постоянном, б – линейно изменяющемся, в – квадратично изменяющемся

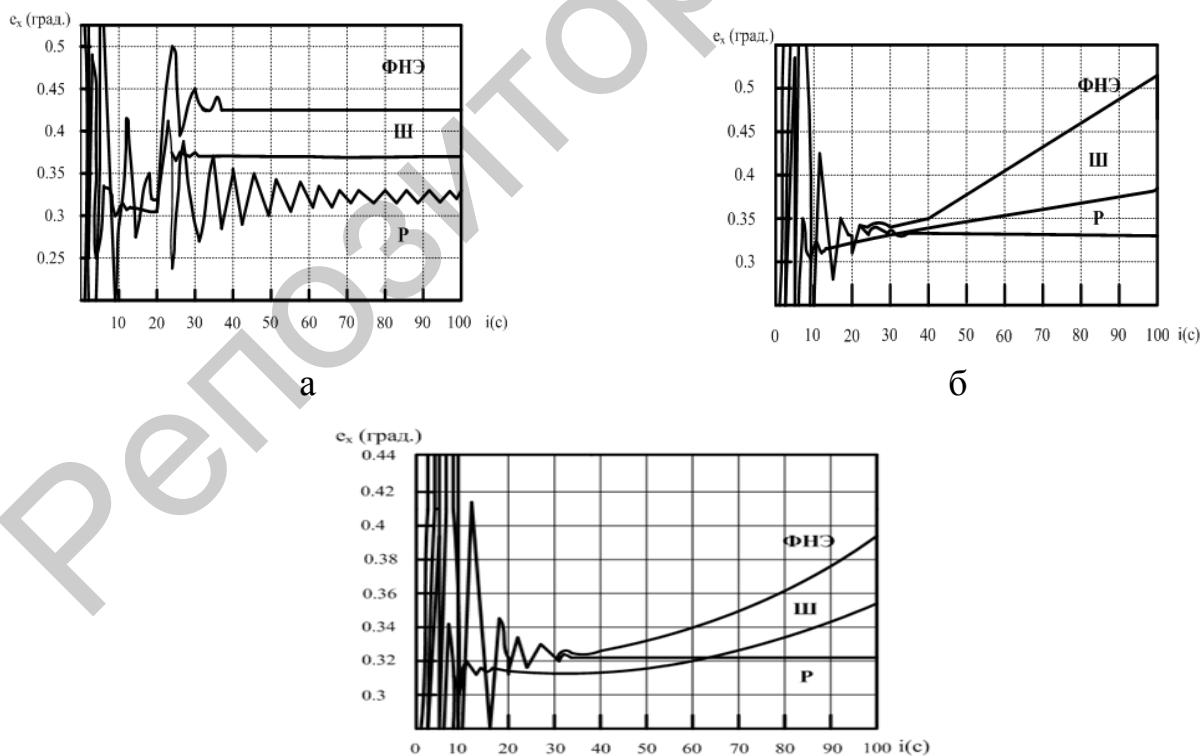


Рисунок 12 – Ошибки в силовых системах при изменении коэффициента преобразования исполнительной части системы: а – скачкообразно, б – по линейному закону; в – по квадратичному закону

Зависимости ошибок в силовых системах при изменениях коэффициента преобразования исполнительской части скачкообразно, по линейному и квадратичному законам представлены на рисунке 12 *а*, *б* и *в* соответственно.

Анализ ошибок в силовых системах при детерминированных изменениях коэффициента преобразования исполнительской части показывает, что ошибка установившегося режима существенно меньше в робастной силовой системе, чем в «штатной» системе и системе из функционально-необходимых элементов. Силовая следящая система, состоящая из функционально-необходимых элементов, наиболее чувствительна к изменениям коэффициента преобразования исполнительской части. За счет стабилизирующей обратной связи ошибка в «штатной» силовой следящей системе менее чувствительна к изменениям коэффициента преобразования исполнительской части. Наилучшим качеством обладает робастная силовая следящая система.

Оценка чувствительности ошибки по внешнему возмущению осуществлялась по выходу модели робастной силовой следящей системы, чувствительности динамической ошибки к пертурбациям - по рассогласованию, формируемому после первого сумматора на структурных схемах моделей систем из функционально-необходимых элементов, «штатной» и робастной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Основные результаты получены для следующих направлений исследований: определение структуры робастной системы, включающей функционально-необходимые элементы и связи; выбор номинальной системы как эталонной модели функционирования; аналитическое конструирование робастных корректирующих обратных связей, обеспечивающих интервальную устойчивость и качество функционирования в пределах определенных границ пертурбаций и характеристик внешних возмущений. Приведена структурная схема математической модели электромеханической силовой следящей системы. Определены нестационарные возмущения, существенно влияющие на качество установившихся режимов работы системы [1, 2, 6, 7, 8].

2. Показано, что эффективным аналитическим инструментом синтеза фильтров поглощения и предсказания обобщенного возмущения является описание пертурбаций и внешних возмущений в классе регулярных процессов с изменяемыми начальными условиями. Приведены структурные схемы для типовых аппроксимаций нестационарных параметрических и внешних возмущений, формирующие банк данных опыта эксплуатации следящих систем управления [3, 4, 9, 10, 11].

3. Приведена структура робастной системы в виде многоконтурной дискретной математической модели, учитывающая функционально-необходимые элементы, эталонную модель и управление по «невязкам», робастизирующие элементы – фильтры предсказания и поглощения нестационарного детерминированного обобщенного возмущения. Отражены

результаты моделирования фильтров предсказания и поглощения для следующих детерминированных аппроксимаций обобщенного возмущения: скачкообразное, изменяющееся во времени по линейному, квадратичному, кубическому, периодическому или экспоненциальному законам. Моделируются дискретные структурные схемы электромеханической силовой следящей системы и оценивается качество слежения по величинам суммарных ошибок при регулярных детерминированных нестационарных возмущениях системы, составленной из функционально-необходимых элементов, «штатной» системы и предлагаемой робастной системы управления. По динамике ошибок оценивается степень робастизации – чувствительности управления в условиях нестационарных пертурбаций и внешних возмущений [4, 5, 12].

4. Эффективность робастизации подтверждена следующими результатами моделирования: при скачкообразном, линейно и квадратично - изменяющемся внешнем возмущении значение ошибки по возмущению в «штатной» системе от 1,5 до 3 раз, в системе из функционально-необходимых элементов от 2,3 до 5,3 раза превышает значение ошибки в робастной системе; при скачкообразном, линейном и квадратичном законах изменения коэффициента преобразования ошибка в «штатной» системе примерно в 1,2 раза, в системе из функционально-необходимых элементов от 1,3 до 1,6 раза превышает значение ошибки в робастной системе. За счет эффекта компенсации ошибка в робастной системе остается постоянной величиной, равной установившемуся значению ошибки в номинальной системе, не «чувствуя» пертурбаций и внешних возмущений [4, 5, 12].

Таким образом, в диссертационной работе аналитическими методами структурирована математическая модель силовой электромеханической робастной следящей системы. Обоснована низкая чувствительность ошибки слежения при известных из опыта эксплуатации не измеряемых изменениях коэффициента преобразования исполнительной части системы и внешнего возмущения, обусловленного, в частности, постановкой уведящей по направлению помехи. Эффективность робастного управления приближается к «эталонному» с низкой чувствительностью к нестационарным пертурбациям и внешним возмущениям.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах

1. Ганэ, В.А. Функциональная схема высокоточного привода с переменными параметрами / В.А. Ганэ, Н.Т. Ахмед // Энергетика. – 2010. – №2. – С. 27–36.
2. Ахмед, Н.Т. Сравнительный анализ методов эффективного управления информационными системами / Н.Т. Ахмед // Вестник БНТУ. – 2010. – №4. – С. 52–54.
3. Ахмед, Н.Т. Робастная коррекция высокоточной силовой следящей системы / Н.Т. Ахмед // Доклады БГУИР. – 2010. – №6. – С. 18–24.

4. Ганэ, В.А. Моделирование функционирования робастной системы при детерминированном обобщенном возмущении / В.А. Ганэ, Н.Т. Ахмед // Доклады БГУИР. – 2011. – №3. – С. 74–80.

5. Ахмед, Н.Т. Моделирование эффективности робастного управления при нестационарных детерминированных возмущениях / Н.Т. Ахмед // Доклады БГУИР. – 2012. – №1. – С. 83–85.

Тезисы докладов на научных конференциях

6. Ахмед, Н.Т. Робастность штатного высокоточного привода / Н.Т. Ахмед // Наука – образованию, производству, экономике: сб. науч. ст. материалов седьмой Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2009 г.: в 3 т. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2009. – Т. 1. – С. 158.

7. Ганэ, В.А. Сравнительный анализ методов эффективного управления информационными системами / В.А. Ганэ, Н.Т. Ахмед // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: сб. науч. ст. материалов XIII Республ. науч. конф. студ. и аспирантов, Гомель, 15–17 марта 2010 г. / ГГУ им. Ф. Скорины; редкол.: О.М. Демиденко [и др.]. – Гомель, 2010. – С. 72–73.

8. Ахмед, Н.Т. Методология повышения качества управления координатными системами на основе робастного подхода / Н.Т. Ахмед, В.А. Ганэ // Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси: сб. науч. ст. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., Пинск, 9 апреля 2010 г. / ПолесГУ; редкол.: К.К. Шебеко [и др.]. – Пинск, 2010. – С. 34.

9. Ахмед, Н.Т. Робастный подход к построению координатных следящих систем / Н.Т. Ахмед // Наука – образованию, производству, экономике: сб. науч. ст. материалов восьмой Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2010 г.: в 4 т. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2010. – Т. 1. – С. 227.

10. Ганэ, В.А. Робастный подход к информационной защите системы автоматического слежения по направлению / В.А. Ганэ, Н.Т. Ахмед // Технические средства защиты информации: материалы VIII Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 24–28 мая 2010 г. / БГУИР; редкол.: В.Ф. Голиков [и др.]. – Минск, 2010. – С. 41–42.

11. Ахмед, Н.Т. Интервально-робастный подход к повышению качества управления следящими системами / Н.Т. Ахмед // Технические средства защиты информации: материалы IX Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 28–29 июня 2011 г. / БГУИР; редкол.: В.Ф. Голиков [и др.]. – Минск, 2011. – С. 54–55.

12. Ахмед, Н.Т. Оценки эффективности робастного управления при нестационарных детерминированных возмущениях / Н.Т. Ахмед // Наука – образованию, производству, экономике: сб. науч. ст. материалов десятой Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2012 г.: в 4 т. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2012. – Т.1. – С. 298.

РЭЗІЮМЭ

Ахмед Насер Тахер

МАДЭЛЯВАННЕ РАБАСТНЫХ СІЛАВЫХ САЧЫЛЬНЫХ СІСТЭМ ПРЫ НЕСТАЦЫЯНАРНЫХ ДЭТЭРМІНАВАНЫХ УЗРУШЭННЯХ

Ключавыя словы: рэгулярныя працэсы, мадэлі і мадэляванне, рабастныя сістэмы сачэння, высокадакладная электрамеханічная сачыльная сістэма, памылкі сачэння.

Мэтай дысертацыйнай работы з'яўляецца распрацоўка мадэляў рабастных электрамеханічных высокадакладных сілавых сістэм сачэння і ацэнка іх эфектыўнасці функцыявання.

У рабоце паказаны:

1) структура мадэлі рабастнай сачыльнай сістэмы, якая ўключае функцыянальна-неабходныя элементы і сувязі, намінальную сістэму як эталонную мадэль функцыявання, фільтры прадказання і паглынання, якія кампенсуюць нестацыянарнае дэтэрмінаванае абагульненае абурэнне;

2) вынікі мадэлявання ў асяроддзі MATLAB тыпавых параметрычных і знешніх абурэнняў, як базы даных вопыту эксплуатацыі сачыльных сістэм, фільтраў прадказання і эфектаў кампенсацыі абагульненага узрушэння ў фільтрах паглынання;

3) вынікі мадэлявання якасці электрамеханічных сілавых сачыльных сістэм па крытэрыю дакладнасці ў асяроддзі MATLAB пры тыпавых рэгулярных дэтэрмінаваных знешніх абурэннях і пертурбацыях;

4) эфектыўнасць рабастнага кіравання, якое набліжаецца па дакладнасці і адчувальнасці да знешніх узрушэнняў і пертурбацыяў да эталоннага кіравання.

РЕЗЮМЕ

Ахмед Насер Тахер

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБАСТНЫХ СИЛОВЫХ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ

Ключевые слова: регулярные процессы, модели и моделирование, робастные следящие системы, высокоточная электромеханическая следящая система, ошибки слежения.

Целью диссертационной работы является разработка моделей робастных электромеханических высокоточных силовых следящих систем и оценка их эффективности функционирования.

В работе показаны:

1) структура модели робастной следящей системы, включающей функционально-необходимые элементы и связи, номинальную систему как эталонную модель функционирования, фильтры предсказания и поглощения, компенсирующие нестационарное детерминированное обобщенное возмущение;

2) результаты моделирования в среде MATLAB типовых параметрических и внешних возмущений как базы данных опыта эксплуатации следящих систем, фильтров предсказания и эффектов компенсации обобщенного возмущения в фильтрах поглощения;

3) результаты моделирования качества электромеханических силовых следящих систем по критерию точности в среде MATLAB при типовых регулярных детерминированных внешних возмущениях и пертурбациях;

4) эффективность робастного управления, приближающегося по точности и чувствительности к внешним возмущениям и пертурбациям, к эталонному управлению.

SUMMARY

Ahmeid Nasser Altaher

MODELLING ROBAST OF POWER WATCHING SYSTEMS AT THE NONSTATIONARY DETERMINED INDIGNATIONS

Keywords: modeling, robust power watching systems, an electromechanical drive.

The purpose of dissertational work is structurization of models robust. The purpose of dissertational work is working out of models робастных electromechanical high-precision power watching systems and an estimation of their efficiency of functioning.

In work are shown:

1) structure robust the system including is functional-necessary elements and communications, and nominal system - as reference model of functioning;

2) discrete functions разностных the equations of forming filters of a prediction, filters of absorption for the determined and generalized indignations; block diagram's robust the control systems, generalizations differing by various degrees are resulted;

3) results of modeling of efficiency of power watching systems at regular indignations;

4) efficiency robust managements coming nearer to reference management.

Научное издание

АХМЕД
Насер Тахер

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБАСТНЫХ СИЛОВЫХ СЛЕДЯЩИХ
СИСТЕМ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ
ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ**

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук
по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление
и обработка информации

Подписано в печать 21.11.2012. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 1,22. Уч.-изд. л. 0,95. Тираж 60. Заказ 1507.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ №02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, Минск.