

На правах рукописи

АРАНОВСКИЙ Станислав Владимирович

**АДАПТИВНЫЕ ИДЕНТИФИКАТОРЫ КВАЗИГАРМОНИЧЕСКИХ
ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление
и обработка информации (в технических системах)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2009

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном университете информационных технологий, механики и оптики.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Бобцов Алексей Алексеевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук Поляков Константин Юрьевич,

кандидат технических наук, доцент Новожилов Игорь Михайлович.

Ведущая организация: ФНПЦ ФГУП «НИИ Прецизионного Приборостроения».

Защита состоится 19 мая 2009 г. в 17 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 212.227.03 в Санкт-Петербургском государственном университете информационных технологий, механики и оптики по адресу: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д.49, СПбГУ ИТМО.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики.

Автореферат разослан 16 апреля 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Дударенко Н.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проблема идентификации квазигармонических возмущающих воздействий является важной базовой проблемой, находящей различные применения в теоретических и инженерных дисциплинах. В частности, такая проблема возникает в задачах парирования квазигармонических возмущений, имеющих, в отличие от периодических, гармоник с несоизмеримыми частотами (т.е. не являющимися целыми кратными некоторой частоты). Если частота возмущающего воздействия не известна, то решение задачи его компенсации представляет собой достаточно сложную задачу. Например, данная проблема широко распространена для объектов управления вида

$$\dot{x} = Ax + Bu + Dw,$$

где $w(t) = \sigma_0 + \sigma \sin(\omega t + \phi)$ – неизвестное возмущение. Если же частоту возмущающего воздействия удастся идентифицировать, то проблема становится тривиальной, и для ее решения можно использовать широко известный метод внутренней модели.

Решение проблемы синтеза идентификаторов квазигармонических возмущающих воздействий имеет большое значение для практики. Такие задачи встречаются в системах активной виброзащиты (Г.В. Лукьянова, В.О. Никифоров), в системах самообучения траекторного движения мобильных роботов (А.А. Бобцов, А.В. Лямин) и т.п. Отдельно следует упомянуть исследования, проводимые в индустрии производства жестких дисков, связанные с тем, что идентификация параметров колебаний считывающей головки позволяет повысить точность ее позиционирования и существенно увеличить плотность записи. Кроме указанных выше приложений, проблема идентификации квазигармонических возмущающих воздействий находит применение в задачах идентификации параметров хаотических сигналов при решении задач кодирования и передачи информации. Так, в хаотических системах типа Дуффинга хаотическое поведение демонстрируется только в присутствии соответствующего гармонического возмущения.

Существуют различные подходы к решению поставленной задачи, среди которых важное место занимают как статистические подходы и методы, связанные с оценкой спектральных плотностей, так и алгоритмы, работающие в непрерывном времени. Данная диссертационная работа посвящена разработке функционирующих в непрерывном времени адаптивных идентификаторов квазигармонических возмущающих воздействий.

Целью диссертационной работы является разработка новых алгоритмов идентификации квазигармонических возмущающих воздействий, обладающих робастностью к неучтенным помехам, простотой инженерной реализации, а так же меньшим динамическим порядком по сравнению с известными аналогами.

Методы исследования. При получении теоретических результатов использовались современные методы теории адаптивных систем, преобразование Лапласа, метод функций Ляпунова, методы нелинейной теории управления. Для проведения компьютерного моделирования использовалась программная оболочка Matlab.

Научная новизна работы:

Научная новизна результатов диссертационной работы состоит в следующем:

- предложен новый подход к идентификации частоты синусоидального сигнала, обладающий робастностью к неучтенным помехам в измерениях и позволяющий регулировать скорость параметрической сходимости,
- получен новый алгоритм идентификации частоты смещенного синусоидального сигнала, обладающий наименьшей размерностью среди аналогов, робастностью к неучтенным помехам в измерениях и позволяющий получать оценку амплитуды и смещения в реальном времени,
- синтезирован новый подход к адаптивной идентификации неизмеряемого квазигармонического возмущения, действующего на нелинейный объект, и его парирования,
- разработан новый алгоритм адаптивной идентификации квазигармонического возмущения, действующего на линейный объект управления. Алгоритм использует измерения только выхода объекта, но не переменных состояния.

Практическая значимость и реализация результатов. Разработанные алгоритмы синтеза адаптивных идентификаторов позволяют решать задачи парирования действующих на объект квазигармонических возмущающих воздействий. При этом предложенные алгоритмы обладают малой динамической размерностью, простотой реализации, робастностью к неучтенным помехам в измерениях и позволяют регулировать время оценивания параметров путем изменения коэффициентов.

Предложенные алгоритмы синтеза адаптивных идентификаторов, а также принципы их построения могут быть рекомендованы для применения как в проектно-исследовательских организациях при разработке систем автоматического управления, так и в учебном процессе в технических ВУЗах. В частности, разработанные принципы построения алгоритмов адаптивной идентификации использовались при разработке системы управления прецизионными электроприводами квантово-оптических систем нового поколения, поставляемых в рамках хозяйственных работ с ФНПЦ ФГУП «НИИ Прецизионного Приборостроения».

Достоверность научных и практических результатов, полученных в диссертационной работе, подтверждается:

- аналитическими доказательствами;
- результатами компьютерного моделирования предложенных алгоритмов;
- публикациями по теме диссертационной работы;
- аппаратной реализацией некоторых из предложенных алгоритмов.

Апробация работы. Работа выполнена на кафедре систем управления и информатики Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. Часть диссертационных исследований (в 2007 и 2008 годах) была поддержана персональными грантами Правительства Санкт-Петербурга, а так же грантам Российского фонда фундаментальных исследований (№05-08-33388-А и №06-01-08038-ОФИ). Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на XXXVI и XXXVII научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава СПбГУ ИТМО (Санкт-Петербург, 2007 и 2008 г.), IV и V конференциях молодых ученых СПбГУ ИТМО (Санкт-Петербург, 2007 и 2008 г.), международной конференции Adaptation and Learning in Control and Signal Processing (ALCOSP 07) (Санкт-Петербург, 2007 г.).

Публикации. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 9 статьях и докладах, среди которых 5 публикаций в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК. Доклады обсуждались и получили одобрение на 4 международных, всероссийских и межвузовских научно-практических конференциях.

Научные положения выносимые на защиту:

- 1) Новый алгоритм идентификации частоты синусоидального сигнала, обладающий робастностью к помехам в измерениях.
- 2) Новые алгоритмы идентификации параметров смещенного квазигармонического сигнала, робастные к помехам в измерениях и обладающие наименьшей размерностью среди известных аналогов.
- 3) Новый алгоритм компенсации квазигармонического возмущающего воздействия для нелинейного объекта по измерениям переменных состояния.
- 4) Новые алгоритмы компенсации квазигармонических возмущений, действующих на линейные, объекты при условии измерения только выходной переменной объекта.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав с выводами и заключения. Она изложена на 142 страницах машинописного текста, включает 96 рисунков и содержит список литературы из 37 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проводится обзор методов идентификации квазигармонических возмущений и их параметров. Обсуждаются основные результаты, связанные с исследуемым вопросом, представленные такими известными учеными как К. Ксиа, Р. Марино, П. Томэй, М. Хоу. Проводится анализ рассматриваемых алгоритмов и их моделирование, иллюстрирующее особенности того или иного подхода. Отдельно для каждого алгоритма обсуждается вопрос робастности и проводится компьютерное моделирование. По результатам обзора делается вывод, что, хотя проблеме идентификации квазигармонических возмущающих воздействий в непрерывном времени посвящено немалое количество публикаций, но построение адаптивных и робастных алгоритмов остается актуальной задачей современной теории управления.

Во второй главе диссертации рассматривается задача построения адаптивных идентификаторов для квазигармонических возмущающих воздействий, причем предполагается, что квазигармоническое возмущение является измеряемым.

Вторая глава состоит из трех разделов, первый из которых посвящен рассмотрению задачи идентификации частоты синусоидального сигнала в условиях действия помех в измерении. Рассматривается сигнал

$$w(t) = \sigma \sin(\omega t + \phi) + \delta(t), \quad (1)$$

представляющий собой синусоиду с неизвестной амплитудой σ , неизвестной частотой ω , неизвестной фазой ϕ и неизвестным ограниченным возмущением $\delta(t)$. Формулируется задача синтеза алгоритма идентификации, обеспечивающего для любых σ , ϕ , $\omega > 0$ и $\delta(t)$ выполнение условий

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |\omega - \hat{\omega}(t)| = 0 \text{ при } \delta(t) = 0, \quad (2)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |\omega - \hat{\omega}(t)| \leq \delta_0 < \infty \text{ при } \delta(t) \neq 0, \quad (3)$$

где $\hat{\omega}(t)$ – текущая оценка параметра ω , а число δ_0 представляет собой некоторую область, зависящую от амплитуды помехи $\delta(t)$.

Для решения поставленной задачи был предложен алгоритм вида

$$\begin{cases} \hat{\omega} = \sqrt{|\hat{\theta}|}, \\ d\xi_1/dt = \xi_2, \\ d\xi_2/dt = -2\xi_2 - \xi_1 + w, \\ z(t) = d\xi_2/dt, \\ \hat{z}(t) = \hat{\theta} \xi(t), \\ \dot{\hat{\theta}} = k\xi(z - \hat{z}), \end{cases} \quad (4)$$

обладающий устойчивой работой при наличии неучтенных помех, присутствующих в измерении полезного синусоидального сигнала. Было показано, что алгоритм (4) позволяет за счет увеличения коэффициента k ускорять процесс сходимости оценки $\hat{\theta}(t)$ к θ . Было представлено доказательство работоспособности предложенного алгоритма и проведено его компьютерное моделирование для различных значений частоты, настроенного коэффициента k и помехи $\delta(t)$.

Во втором разделе рассматривается измеряемый сигнал вида

$$w(t) = \sigma_0 + \sigma \sin(\omega t + \phi), \quad (5)$$

представляющий собой смещенную синусоиду с неизвестными смещением σ_0 и амплитудой σ , неизвестной частотой ω и неизвестной фазой ϕ .

Ставится задача синтеза алгоритма идентификации, обеспечивающего для любых σ_0 , σ , ϕ и $\omega > 0$ выполнение условия

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |\omega - \hat{\omega}(t)| = 0, \quad (6)$$

где $\hat{\omega}(t)$ – текущая оценка параметра ω .

Для решения поставленной задачи был получен алгоритм вида:

$$\begin{cases} \hat{\omega} = \sqrt{|\hat{\theta}|}, \\ \zeta_1(t)/dt = \zeta_2(t), \\ \zeta_1(t)/dt = -2\alpha\zeta_2(t) - \alpha^2\zeta_1(t) + w(t), \\ \zeta(t) = \zeta_1(t), \\ \dot{\chi}(t) = k\dot{\zeta}(t)(-2\alpha\dot{\zeta}(t) - \alpha^2\zeta(t)) - k\dot{\zeta}^2(t)\hat{\theta}(t), \\ \hat{\theta}(t) = \chi(t) + k\dot{\zeta}(t)y(t), \end{cases} \quad (7)$$

обладающий наименьшей динамической размерностью среди аналогов, робастностью относительно неучтенных помех в измерении сигнала $w(t)$ и позволяющий, как и алгоритм (4), регулировать скорость параметрической сходимости путем изменения коэффициента k . Были синтезированы алгоритмы, позволяющие в реальном времени идентифицировать смещение σ_0 и амплитуду σ . В работе было приведено доказательство работоспособности предложенного алгоритма и проведено его компьютерное моделирование для различных значений сигнала (5) и коэффициентов алгоритма (7).

В третьем разделе рассматривается задача идентификации параметров квазигармонического сигнала:

$$w(t) = \sum_{i=1}^n \sigma_i \sin(\omega_i t + \varphi_i), \quad (8)$$

где $\sigma_1, \dots, \sigma_n, \omega_1, \dots, \omega_n, \varphi_1, \dots, \varphi_n$ – неизвестные параметры сигнала, n – известное натуральное число. Ставится задача синтеза алгоритма идентификации, обеспечивающего для $i = \overline{1, n}$ для любых σ_i , φ_i и $\omega_i > 0$ выполнение условия

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |\omega_i - \hat{\omega}_i(t)| = 0, \quad (9)$$

где $\hat{\omega}_i(t)$ – текущая оценка параметра ω_i .

Решение базируется на расширенной версии алгоритма (7):

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \prod_{i=1}^n (p^2 + \omega_i^2) = p^{2n} - \theta_n p^{2n-2} - \dots - \theta_2 p^2 - \theta_1 = p^{2n} - \theta(p), \\
 \bar{\zeta}(t) = \frac{1}{(p + \alpha)^{2n-1}} w(t), \\
 \psi(t) = \text{col}\{\bar{\zeta}^{(2n-2)}, \bar{\zeta}^{(2n-4)}, \bar{\zeta}^{(2n-6)}, \dots, \overset{\cdot\cdot\cdot}{\bar{\zeta}}, \overset{\cdot\cdot}{\bar{\zeta}}, \bar{\zeta}\}, \\
 \theta_e = \text{col}\{\theta_n, \theta_{n-1}, \dots, \theta_2, \theta_1\}, \\
 a(p) = p(p + \alpha)^{2n-1} - p^{2n}, \\
 \bar{z}(t) = a(p)\bar{\zeta}(t), \\
 \hat{\theta}_e(t) = k\psi(t)y(t) + \chi_e(t), \\
 \dot{\chi}_e(t) = -k\dot{\psi}(t)y(t) - k\psi(t)\bar{z}(t) - k\psi(t)\psi^T(t)\hat{\theta}_e,
 \end{array} \right. \quad (10)$$

где $\alpha > 0, k > 0$. Данный алгоритм обладает размерностью $3n-1$, что является наименьшей размерностью среди аналогов. Аналогично алгоритму (7), предложенная схема идентификации является робастной относительно неучтенных возмущений в измерениях. В главе приводятся результаты компьютерного моделирования алгоритма (10), иллюстрирующие его работоспособность.

Таким образом, во второй главе были предложены новые подходы к решению задачи идентификации параметров квазигармонических сигналов, доказана их работоспособность и проведено компьютерное моделирование.

В третьей главе диссертационной работы рассматривается задача компенсации возмущающих воздействий, представляющих собой квазигармонические сигналы. Следует отметить, что задача компенсации квазигармонических возмущений становится тривиальной, если их частоты являются известными параметрами, – в этом случае можно воспользоваться методом внутренней модели, предполагающим встраивание в регулятор модели возмущающего воздействия с известными частотами. Однако в диссертационной работе такой подход не применим, так как параметры возмущения являются неизвестными.

Третья глава состоит из трех разделов, первый из которых посвящен вопросу компенсации конечномерного квазигармонического возмущения для нелинейного объекта. Рассматривается нелинейный объект управления вида

$$\dot{x} = f(x) + g(x)(u + w), \quad (11)$$

где $x = x(t) \in R^p$ – вектор состояния, u – сигнал управления, $f(x)$ и $g(x)$ – гладкие вектор-функции ($f(0) = 0$), w – неизвестное квазигармонические возмущения вида

$$w(t) = \sigma_0 + \sum_{i=1}^n \sigma_i \sin(\omega_i t + \varphi_i), \quad (12)$$

где $\sigma_0, \sigma_1, \dots, \sigma_n, \omega_1, \dots, \omega_n, \varphi_1, \dots, \varphi_n$ – неизвестные постоянные параметры; n – известное натуральное число. Ставится задача синтеза гладкой обратной связи по состоянию, обеспечивающей в замкнутой системе при любых начальных состояниях $x(t_0) = x_0$ асимптотическую устойчивость положения равновесия $x = 0$. На объект накладывается ряд допущений, в том числе позволяющих свести поставленную задачу к идентификации возмущающего воздействия по измерениям состояний объекта управления.

Для решения задачи идентификации предлагается алгоритм

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\xi}_f = \Gamma_0 \hat{\xi} + q \hat{\varphi}^T \hat{\theta} + \mu q \left(-r^T f(x) - U(x) + \left(\frac{\partial V_1(x)}{\partial x} g(x) \right)^T \right), \\ \hat{\xi} = \zeta_f + \mu q r^T x, \\ \dot{\chi}_f = K_\theta \hat{\varphi} \left(-r^T f(x) - U(x) + \left(\frac{\partial V_1(x)}{\partial x} g(x) \right)^T \right) - K_\theta \hat{\varphi} r^T x, \\ \hat{\theta} = \chi_f + K_\theta \hat{\varphi} r^T x, \\ \hat{w} = h^T \hat{\xi}, \end{array} \right. \quad (13)$$

где r – вектор постоянных параметров, такой что для вектор-функции $g(x)$

выполнено $r^T g(x) = 1$, $\Gamma_0 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$ – матрица $(2n+1) \times (2n+1)$,

$$q = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \hat{\phi} = \text{col}(\hat{\xi}_2, \hat{\xi}_4, \dots, \hat{\xi}_{m-1}) \in R^n, \quad \mu > 0 \quad - \text{ постоянный коэффициент,}$$

$U(x)$ - управление и $V_1(x)$ - функция Ляпунова, такие что $c_1|x|^2 \leq V_1(x) \leq c_2|x|^2$ и $\frac{\partial V_1(x)}{\partial x}(f(x) + g(x)U(x)) \leq -c_3|x|^2$, где c_1, c_2 и c_3 - положительные числа, $K_\theta = K_\theta^T > 0$ - $n \times n$ матрица постоянных коэффициентов. Данный алгоритм позволяет с использованием оценки возмущения \hat{w} получить закон управления, обеспечивающий асимптотическую устойчивость рассматриваемого нелинейного объекта. В отличие от ближайших аналогов, в данном алгоритме не накладывается ограничение на максимальное значение частот сигнала, а так же данный подход позволяет строить регуляторы размерности $3n + 1$, что положительно отличается от размерностей регуляторов, предложенных в некоторых аналогах. В работе приведено доказательство работоспособности предложенного алгоритма и приведены результаты его компьютерного моделирования.

Во втором разделе рассматривается задача идентификации параметров возмущающего воздействия

$$w(t) = \sigma_0 + \sigma \sin(\omega t + \phi), \quad (14)$$

представляющего собой смещенную синусоиду с неизвестными смещением σ_0 и амплитудой σ , неизвестной частотой ω и неизвестной фазой ϕ действующую на линейный объект управления вида

$$y(t) = \frac{b(p)}{a(p)}u(t) + \frac{c(p)}{a(p)}w(t), \quad (15)$$

где $u(t)$ - измеряемый входной сигнал, $y(t)$ - измеряемый выходной сигнал, $a(p), b(p), c(p)$ - известные полиномы, $p = d/dt$. Предполагается, что полином $a(p)$ является гурвицевым, измеряются только сигналы $u(t)$ и

$y(t)$, но не возмущающее воздействие $w(t)$. Ставится задача синтеза алгоритма, обеспечивающего для любых σ_0, σ, ϕ и $\omega > 0$ выполнение условия

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |\omega - \hat{\omega}(t)| = 0, \quad (16)$$

где $\hat{\omega}(t)$ – текущая оценка параметра ω .

Для решения поставленной задачи предлагается алгоритм

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{\omega} = \sqrt{|\hat{\theta}|}, \\ \bar{w}(t) = y(t) - \frac{b(p)}{a(p)} u(t), \\ \dot{\hat{x}}_1 = \hat{x}_2, \\ \dot{\hat{x}}_2 = \hat{x}_3, \\ \dot{\hat{x}}_3 = -\hat{\theta} \hat{x}_2 + u_x, \\ \hat{w}(t) = k_1 \hat{x}_1 + k_2 \hat{x}_2 + k_3 \hat{x}_3, \\ \dot{\hat{\theta}} = -k_a \hat{x}_2 (\bar{w} - \hat{w}), \end{array} \right. \quad (17)$$

где $u_x = \bar{w} - \hat{w} = y - \frac{b(p)}{a(p)} u - \hat{w}$, коэффициенты k_1, k_2, k_3 и k_a строго

положительны. Данный алгоритм отличается от ближайших аналогов тем, что позволяет получать оценку частоты смещенного возмущающего воздействия и не требует измерения самого возмущения. Так же данный алгоритм не требует измерения состояний объекта. В работе приведено доказательство работоспособности предложенного алгоритма и приведены результаты его компьютерного моделирования.

В третьем разделе рассматривается вопрос построения адаптивного идентификатора неизвестного синусоидального возмущающего воздействия, оказывающего паразитный эффект на измерения выходной переменной линейного объекта управления. Рассматривается в общем случае неустойчивый и неминимально фазовый объект вида

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t) + w(t), \quad (18)$$

где вектор переменных состояния $x(t) \in R^p$ не измеряется, $u(t)$ – скалярный сигнал управления, $y(t)$ – скалярная выходная переменная, A, B и C –

известные матрицы. Входное возмущение $w(t)$ представлено в виде синусоидальной функции

$$w(t) = \sigma \sin \omega t \quad (19)$$

с неизвестными амплитудой σ и частотой ω . Требуется построить адаптивный идентификатор частоты возмущающего воздействия такой, что

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |\omega(t) - \hat{\omega}(t)| = 0. \quad (20)$$

Для решения поставленной задачи предлагается алгоритм

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{\omega} = \sqrt{|\hat{\theta}|}, \\ \bar{w}(t) = y(t) - \frac{a_1(p)}{\gamma(p)} y(t) - \frac{b(p)}{\gamma(p)} u(t), \\ \dot{\zeta}_1(t) = \zeta_2(t), \\ \dot{\zeta}_2(t) = -2\zeta_2(t) - \zeta_1(t) + \bar{w}(t), \\ z(t) = \bar{w}(t) - 2\dot{\zeta}_2(t) - \zeta_2(t), \\ \hat{z}(t) = \hat{\theta}(t)\zeta_1(t), \\ \dot{\hat{\theta}}(t) = k\zeta(t)(z(t) - \hat{z}(t)), \end{array} \right. \quad (21)$$

где полиномы $a(p)$ и $b(p)$ определяются как $\frac{b(p)}{a(p)} = C(pI - A)^{-1}B$, $\gamma(p)$

произвольный гурвицев полином степени p , $a_1(p) = \gamma(p) - a(p)$, k - положительный коэффициент. Данный алгоритм позволяет провести идентификацию параметров возмущающего воздействия, действующего на выход объекта управления. В работе приведено доказательство работоспособности предложенного алгоритма и приведены результаты компьютерного моделирования.

Четвертая глава диссертации посвящена вопросу апробации полученных теоретических результатов на мехатронном исследовательском комплексе “Маятник”. Для исследования был выбран алгоритм идентификации частоты смещенного синусоидального сигнала, представленный во втором разделе второй главы. Мехатронный исследовательский комплекс “Маятник” был разработан в рамках конкурса “Участник Молодежного Научно-Инновационного Конкурса” (УМНИК), в котором соискатель является победителем. В главе приводится описание мехатронного комплекса и рассматриваются области его применения. Для выбранного алгоритма

проводится исследование его цифровой реализации, анализируется влияние нелинейностей, присущих мехатронному комплексу. Далее проводится аппаратная реализация полученной цифровой версии алгоритма и анализ полученных графиков идентификации параметров сигнала. По результатам апробации делается вывод о работоспособности исследуемого алгоритма и его робастности по отношению к внешним возмущениям и искажениям сигнала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе были получены следующие новые теоретические и практические результаты:

1. Разработаны новые алгоритмы идентификации параметров квазигармонического сигнала, обладающие наименьшей размерностью среди аналогов, робастные относительно неучтенных помех в измерениях и позволяющие регулировать время параметрической сходимости. Так же предложены схемы оценки амплитуды и смещения рассматриваемого сигнала.
2. Предложен новый алгоритм компенсации квазигармонического возмущающего воздействия для нелинейного объекта по измерениям переменных состояния.
3. Разработаны новые алгоритмы идентификации параметров квазигармонических возмущающих воздействий, действующих на линейный объект управления, в общем случае неустойчивый и неминимально фазовый. В алгоритме используются измерения только выходной переменной объекта, но не его состояний.
4. Была проведена аппаратная реализация алгоритма идентификации частоты квазигармонического сигнала. Результаты реализации совпадают с результатами компьютерного моделирования и подтверждают работоспособность предложенного алгоритма.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных в действующем перечне ВАК:

1. Арановский С.В., Бобцов А.А., Кремлев А.С. Компенсация конечномерного квазигармонического возмущения для нелинейного

- объекта // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2006. – №4. – С. 14–21.
2. Арановский С.В., Бобцов А.А., Кремлев А.С., Лукьянова Г.В. Идентификация частоты синусоидального возмущения, действующего на линейный объект // Известия ВУЗов. Приборостроение. – 2007. – №1. – С. 22–25.
 3. Арановский С.В., Бобцов А.А., Кремлев А.С., Лукьянова Г.В. Робастный алгоритм идентификации частоты синусоидального сигнала // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2007. – №3. – С. 1–6.
 4. Арановский С.В., Бобцов А.А. Алгоритм компенсации квазигармонического возмущения с нерегулярной составляющей // Известия ВУЗов. Приборостроение. – 2007. – №11. – С. 19–23.
 5. Арановский С.В., Бобцов А.А., Кремлев А.С., Лукьянова Г.В., Николаев Н.А. Идентификация частоты смещенного синусоидального сигнала // АиТ. – 2008. – №9. – С. 3–9.

Другие статьи и материалы конференций:

1. Арановский С.В., Бобцов А.А., Кремлев А.С., Никифоров В.О. Адаптивная компенсация квазигармонического возмущения для нелинейного объекта // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. Выпуск 33. Технологии управления / Под. ред. В.Н. Васильев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006 – С. 81–86.
2. Арановский С.В., Бобцов А.А., Григорьев В.В., Пыркин А.А. Адаптивный наблюдатель для компенсации полигармонического возмущения, действующего на выходную переменную нелинейного объекта управления // Труды 5-ой научной конференции «Управление и информационные технологии» (УИТ-2008). – Санкт-Петербург, 2008. – С. – 94-98.
3. Aranovskiy S., Bobtsov A., Kremlev A., Nikolaev N., Slita O. Identification of frequency of biased harmonic signal // IFAC Workshop on Adaptation and Learning in Control and Signal Processing (ALCOSP 07). – Saint-Petersburg, 2007.
4. Aranovskiy S., Bobtsov A., Nikolaev N., Pyrkin A., Slita O. Observer for chaotic Duffing system // 6th EUROMECH Nonlinear Dynamics Conference - Saint-Petersburg, 2008.