

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Московский технологический университет «МИРЭА»
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Московский государственный университет
Самарский государственный аэрокосмический университет
(национальный исследовательский университет)
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Тульский государственный университет
Пензенский государственный университет
Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева
Воронежский государственный университет

*Координатор конференции 2019 г. –
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*
*Конференция проводится при информационной поддержке Международной
общественной организации «Академия навигации и управления движением»*

XXVIII Международная научно-техническая конференция

«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ, АВТОМАТИКИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ»

Сборник трудов

Алушта, Республика Крым, Россия
14 – 20 сентября 2019 г.

УДК 681.51+002.5:004
ББК 67.91
С 568

XXVIII Международная научно-техническая конференция «Современные технологии в задачах управления, автоматике и обработки информации», Сборник трудов. Алушта, 14 – 20 сентября 2019 г. – М.: НИЯУ МИФИ, 2019. – 216 с.: ил.

В сборник трудов включены тексты пленарных докладов и тезисы секционных докладов, предоставленных на XXVIII Международную научно-техническую конференцию **«Современные технологии в задачах управления, автоматике и обработки информации»** в городе Алушта (Республика Крым, РФ). Доклады посвящены проблемам разработки и практического применения современных информационных технологий, средств автоматизации и телекоммуникаций в задачах управления техническими, экономическими и социальными системами.

Материалы – тексты пленарных докладов и тезисы секционных докладов – предоставлены авторами в электронном виде и сохраняют авторскую редакцию. Организаторы конференции и редакционная коллегия настоящего сборника, в роли которой выступает Организационный комитет конференции, не несут ответственности за содержание предоставленных авторами материалов.

Материалы получены от авторов до 31 июля 2019 г.

ISBN'9: /7/9484/47: : /5

© Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2019.
© Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет), 2019.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ ОРГКОМИТЕТА

- Лебедев Г. Н. (МАИ)
- Веремеенко К. К. (МАИ)
- Чемоданов В. Б. (МАИ)
ученый секретарь
- Анисимов Д. Н. (МЭИ)
- Белоконов И. В. (СГАУ)
- Бугров Д.И. (МГУ)
- Загребаев А. М. (МИФИ)
- Краснянский М.Н.(ТГТУ)
- Лемак С. С. (МГУ)
- Лохин В. М. (МИРЭА)
- Матвеев М. Г. (ВГУ)
- Осипов Л. А (ГУАП)
- Подмастерьев К. В. (ОГУ им. И. С. Тургенева)
- Распопов В. Я. (ТГУ)
- Щербаков М. А. (ПГУ)

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА

- Волченков Н.Г. (МИФИ)
координатор конференции
- Голован А. А. (МГУ)
- Ермилина О.В. (ПГУ)
- Ивченко В. Д. (МИРЭА)
- Колосов О. С. (МЭИ)
- Муромцев Д.Ю. (ТГТУ)
- Осипова И.Р. (ГУАП)
- Следков Ю. Г. (МАИ)
- Степанов О. А. (ЦНИИ «Электроприбор»)

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА:

Равикович Ю.А. – проректор МАИ по научной работе,
проф., д.т.н.

ЧЛЕНЫ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА:

Алексеев В.В. – зав. кафедрой ТГТУ, проф., д.т.н.
Белоконов И.В. – проф. СГАУ, д.т.н.
Ван Чанцин – доц., к.т.н., PhD,
Северо-западный политех. университет, КНР.
Веремеенко К.К. – зам. директора института № 3 МАИ, доц., к.т.н.
Гарипов В.К. – проф. МИРЭА, д.т.н.
Загребаяев А.М. – зав. кафедрой кибернетики МИФИ,
проф., д.ф-м.н.
Зайцев А.В. – проф. ВА РВСН, д.т.н.
Ключарев А.А. – доц. ГУАП, к.т.н.
Колосов О.С. – проф. МЭИ, д.т.н.
Лемак С.С. – проф. МГУ, д.ф-м.н.
Лохин В.М. – зам. зав. кафедрой МИРЭА,
проф., д.т.н.
Матвеев М.Г. – зав. кафедрой ВГУ, проф., д.т.н.
Мисник А.Е. – доц., к.т.н., ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», г.Могилев, Белоруссия.
Нгуен Ныы Ман – доц., к.т.н., МАИ, Москва, Вьетнам.
Нестеров В.А. – проф. МАИ, д.т.н.
Певзнер Л.Д. – зав. кафедрой НИТУ МИСиС, проф., д.т.н.
Пекошевский В. – prof., PhD, DSc Head of the Chemistry Dep,
Jagiellonian University, Krakow, Poland.
Подмастерьев К.В. – проф. ГУ-УНПК (г. Орел), д.т.н.
Романов М.П., – декан, проф. МИРЭА, д.т.н.
Самсонович С.Л. – проф. МАИ, д.т.н.
Следков Ю.Г. – директор института № 3 МАИ, доц., к.т.н.
Слепцов В.В. – проф. МИРЭА, д.т.н.
Степанов О.А. – зам. зав. кафедрой, проф. ИТМО, д.т.н.
/ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
Тин Пхон Чжо – проф., д.т.н., Научный центр г. Пин У Лвин,
Мьянма.
Туркин И.К. – зав. кафедрой МАИ, проф., д.т.н.
Черноморский А.И., – проф. МАИ, к.т.н.
Шаронов А.В. – зав. кафедрой МАИ, проф., д.т.н.

УДК 504.423; 51-74

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЁХМЕРНОГО МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Methods for assessing the spectral characteristics of sea waves. Current status and application features

Д.Г. Грязин, К.А. Глеб

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», университет ИТМО Санкт-Петербург.
ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

К.А. Глеб аспирант факультета систем управления и робототехники университет ИТМО
Санкт-Петербург, руководитель профессор Грязин Д.Г.

Сделан обзор становления и развития методов описания пространственного спектра трёхмерного морского волнения, которые измеряются волномерными буюми, оснащёнными инерциальными измерительными модулями. Приведены основные положения классической теории М. Лонге-Хиггинса, В.В. Свешникова. Рассмотрены особенности применения этого метода и его эволюция. Рассмотрены современные методы вычисления, в том числе альтернативные. Выполнен анализ особенностей, достоинств и недостатков их математического аппарата. Намечены пути дальнейших исследований в предложенной области.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-08-00010.

ВВЕДЕНИЕ

Измерители параметров морского волнения получают всё большее распространение во всех областях техники, связанных с морем. Информация о волнении в первую очередь необходима для решения задач безопасности морской техники. Из отчёта Accident statistics for Floating Offshore Units on the UK Continental Shelf, опубликованном в интернете, следует, что большинство аварий на морских платформах происходит из-за падения массивного оборудования в результате качки, вызванной волнением. Статистика регистра Ллойда, приводимая в отношении судов также утверждает, что на первом месте стоят аварии из-за воздействия ветра и волнения. По этой причине в год гибнет до 150 судов. Кроме решения задач прогнозирования, ВБ в мировой практике используются для принятия решений, например о возможности выполнения работ при разработке и эксплуатации новой морской оборонной техники, заходе судов на рейд, фактической безопасности гидротехнических и иных морских сооружений, судоподъёмных и др. операциях, в проведении арбитражных измерений при страховании морских инженерных сооружений. Указанная ситуация делает задачу измерения параметров морского волнения и направления распространения волн актуальной.

Текущее значение параметров волнения получают как с помощью плавающих волномерных буюв [1], так и путём многочисленных бесконтактных

приборов, установленных на морских, воздушных носителях, на сваях и других стационарных сооружениях [2]. Для определения статистических характеристик волн, измеряют ординаты возвышений водной поверхности, для определения полных спектральных характеристик, позволяющих оценить направление бега волн, наряду с ординатами возвышений измеряют углы волнового склона [3]. В волномерных буюах для выполнения измерений этих параметров используются гироскопические приборы, решающие задачу ориентации, в некоторых случаях измерители используют GPS-технологии. В основу работы этих приборов положена принятая модель морского волнения. Теоретическими основами описания морского волнения занимались известные учёные в Англии, США и в СССР в период 30-80 лет прошлого века. Однако в разработанных спектральной и статистической теориях описания взволнованной морской поверхности, имеют место эмпирические решения, что приводит к не всегда адекватным результатам вычислений параметров волнения. В значительной мере это относится к методам получения трёхмерного пространственного спектра волнения. Совершенствование измерительных средств, в этом случае, непосредственно связано с совершенствованием теории волн. С этих позиций и предлагается рассмотреть современные достижения спектральной теории описания морской поверхности.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОПИСАНИЯ ТРЁХМЕРНОГО МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ

Основная идея спектрального метода описания заключается в том, что морская поверхность представляется как суперпозиция плоских регулярных волн (спектральных составляющих) с разными высотами, периодами и направлениями распространения. При этом используются два допущения. Во-первых, предполагается, что процесс волнения является стационарным. Во-вторых, считается, что энергия волн, определяемая по данным одной реализации, измеренной в одном месте водной поверхности, равна энергии волн в различных точках

акватории, охваченной действием ветра той же силы и направления т.е. процесс волнения представляется эргодическим.

В физической плоскости пространства XU , совпадающей с водной поверхностью (рис.1.1а), простоя регулярная волна изображается системой параллельных линий, отмечающих положение гребней в фиксированный момент времени [4]. Расстояние между гребнями определяет длину волны λ . Волновой луч, ориентированный по нормали к

гребням, указывает направление распространения волны, которое характеризуется углом α_0 . Длину волны и направление её бега удобно изобразить в виде вектора OP , протяжённостью $k=2\pi/\lambda$, привязав его к плоскости волновых чисел OUV (рис.6 б), которая вмещает в себя бесконечное множество векторов OP_i с произвольным направлением и волновыми числами.

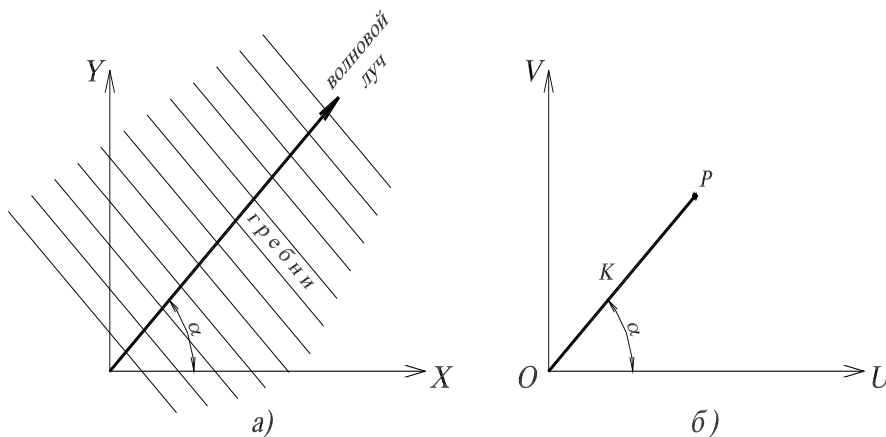


Рис. 1. Изображение плоской регулярной волны в физической плоскости (а) и на плоскости волновых чисел (б)

Плоскость волновых чисел удобна для описания пространственных свойств трёхмерных волн, образуемых наложением элементарных прогрессивных волн. Волновая поверхность простой волны с произвольным направлением, может быть описана уравнением

$$\zeta = r \cos(ux + vy - \omega t) ,$$

где $\omega^2 = gK$; $K = \sqrt{(u^2 + v^2)}$; $u = K \cos \alpha$; $v = K \sin \alpha$; α – угол между положительным направлением оси X и направлением распространения волны, r – амплитуда гармоники.

Трёхмерное волнение, представляющее собой суперпозицию i -х гармонических волн общим числом n , распространяющихся в произвольном направлении, может быть описано выражением

$$\zeta(x, y, t) = \sum_{i=1}^n r_i \cos(ux + vy - \omega_i t + \varepsilon_i) , \quad (1)$$

где ε_i – фазы колебаний.

Используя уравнение морской поверхности (1), представим математический образ для реализации морского волнения в фиксированной точке морской поверхности. При этом предполагается координаты X и Y равны нулю:

$$\zeta(t) = \sum_{i=1}^n r_i \cos(\omega_i t + \varepsilon_i) . \quad (2)$$

А также на некоторой площади моря (например 1 км^2) в фиксированный момент времени $t=0$

$$\zeta(x, y) = \sum_{i=1}^n r_i \cos(u_i x + v_i y + \varepsilon_i)$$

В этом случае удельная волновая энергия, определяемая методами спектрального анализа реализаций, независимо от способа получения последних, должна оставаться практически неизменной. Это возможно при условии, если в уравнении (1) амплитуды r_i являются такими случайными переменными, что в любом элементе $dvdu$ можно считать справедливым равенство

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{2} r_i^2 = E(u, v) dudv . \quad (3)$$

Как в выражении (3), так и в дальнейших рассуждениях предполагается, что количество волновой энергии, нормировано путём деления на множитель $4\pi^2 \rho g$. Функцию $E(u, v)$ называют двухмерной спектральной плотностью волновой энергии или энергетическим спектром волновой поверхности $\zeta(x, y, t)$.

Энергетический спектр волновой поверхности (1) можно построить не только в плоскости волно-

$$S(\omega, \alpha) = E(u_i, v_i) \frac{\partial(u_i, v_i)}{\partial(\omega, \alpha)},$$

где $u_i = \frac{\omega_i^2}{g} \cos \alpha, \quad v_i = \frac{\omega_i^2}{g} \sin \alpha$.

Составить представление о частотном спектре проще всего, анализируя реализации ветрового волнения $\zeta(t)$ в фиксированной точке морской поверхности (выражение (2)). Такой анализ создаёт представление о волнении как о двухмерном процессе $\zeta(x, t)$, все составляющие которого распространяются в одном направлении, а энергетический

$$\int_0^\infty S(\omega) d\omega = \int_0^\infty \int_{-\pi/2}^{\pi/2} S(\omega, \alpha) d\omega d\alpha,$$

которое следует из закона сохранения энергии.

Моменты одномерного спектра $S(\omega)$ определяются выражением:

$$m_n = \int_0^\infty S(\omega) \omega^n d\omega.$$

С их помощью можно определить такую характеристику случайного процесса $\zeta(t)$, как его средний период.

Обычно график двухмерной спектральной плотности строится в географических координатах по направлениям рис. 2, при этом, сечение с наибольшей дисперсией определяет генеральное направление распространения волн

вых чисел uv . В практических расчётах часто пользуются переменными $\omega\alpha$, которые характеризуют частоту и угол распространения волн соответственно. Такой спектр называют двухмерным или пространственным.

Связь между энергетическим спектром волновой поверхности, построенным на плоскости волновых чисел ouv и спектром, построенным для переменных $\omega\alpha$, определится соотношением

спектр $S(\omega)$ является функцией только спектральной частоты ω . Этот спектр называют энергетическим спектром двухмерного волнения, либо частотным (одномерным) спектром трёхмерного волнения. Энергетические спектры двухмерного и трёхмерного волнения связаны соотношением:

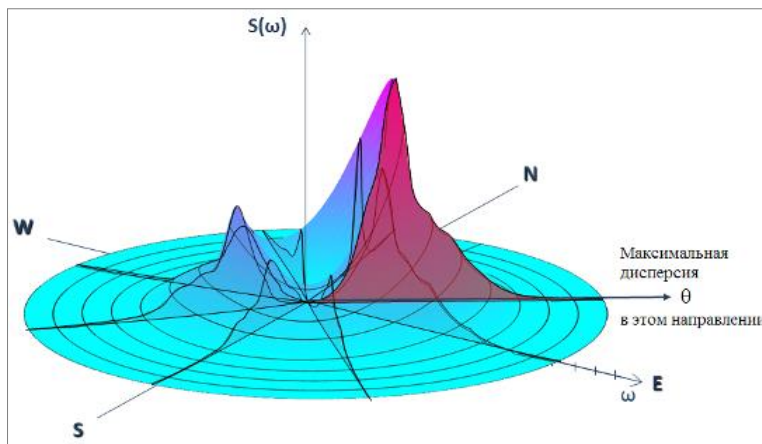


Рис. 2. Двухмерный спектр трёхмерного волнения

Отметим, что направление бега волн во многих случаях совпадает с направлением ветра. Направление ветра определяют географическим направлением, откуда он дует. Таким образом, указание на географическое направление движения волн, это обозначение направления, откуда они движутся [5]. В связи с тем, что график двухмерной спектральной плотности строится в географических координатах, направление бега волн будет от круговой образующей шкалы к центральной нулевой оси всех сечений на рисунке. Оно будет обозначаться соответствующим значением шкалы географических координат, откуда движутся волны.

Методы получения двухмерного энергетического спектра морской поверхности разработаны в трудах А.А.Свешникова и М.Лонге-Хиггинса [6, 7]. В этих работах показано, что если в фиксированной точке поверхности моря произведена одновременная запись возвышения уровня $\zeta(t)$ волновой поверхности и двух её укло-

нов $\partial \zeta(t)/\partial x$ и $\partial \zeta(t)/\partial y$ в ортогональных координатах x и y , сохраняющих неизменную пространственную ориентацию, то можно получить приближённый вид двухмерного спектра в этой точке. Достигается это путём представления двухмерного спектра $S(\omega, \alpha)$ взволнованной поверхности в виде ряда Фурье по географическим направлениям α .

$$S(\omega, \alpha) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos k\alpha + b_k \sin k\alpha],$$

где коэффициенты ряда Фурье a_k и b_k определяются из выражений

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} S(\omega, \alpha) \cos k\alpha d\alpha,$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} S(\omega, \alpha) \sin k\alpha d\alpha.$$

В своих работах А.А.Свешников и М.Лонге-Хиггинс ограничивались первыми пятью членами разложения:

$$S(\omega, \alpha) \approx \frac{1}{2} a_0 + a_1 \cos \alpha + b_1 \sin \alpha + a_2 \cos 2\alpha + b_2 \sin 2\alpha. \quad (4)$$

Здесь коэффициенты разложения имеют следующий вид:

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} S(\omega, \alpha) d\alpha = \frac{1}{\pi} S(\omega) = \frac{1}{\pi} m_{00}^*(\omega);$$

$$a_1 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} S(\omega, \alpha) \cos \alpha d\alpha = \frac{1}{\pi k} m_{10}^*(\omega);$$

$$b_1 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} S(\omega, \alpha) \sin \alpha d\alpha = \frac{1}{\pi k} m_{01}^*(\omega); \quad (5)$$

$$a_2 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} S(\omega, \alpha) \cos 2\alpha d\alpha = \frac{1}{\pi k^2} [m_{20}^*(\omega) - m_{02}^*(\omega)];$$

$$b_2 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} S(\omega, \alpha) \sin 2\alpha d\alpha = \frac{1}{\pi k^2} m_{11}^*(\omega).$$

Как видно, нулевой коэффициент a_0 разложения (4) характеризует распределение волновой энергии только по частотам, независимо от направлений, и представляет, по существу, одномерный частотный спектр $S(\omega)$ взволнованной поверхности.

При заданной частоте ω функция $S(\omega)$ будет определять средний квадрат амплитуды спектральных составляющих на единичном интервале частот в окрестности ω и может интерпретироваться как нулевой момент двухмерного спектра $S(\omega, \alpha)$ в интервале частот $\omega - \frac{d\omega}{2} < \omega < \omega + \frac{d\omega}{2}$

Упомянутый нулевой момент является функцией частоты и обозначается символом $m_{00}^*(\omega)$, отмеченным звёздочкой. Аналогичный комментарий

следует отнести к моментам первого и второго порядков, представленным в формулах (5)

В работах [8, 9] показано, что коэффициенты a_0, a_1, a_2, b_1, b_2 практически вычисляются через автокорреляционные функции ординат волнения и углов волнового склона в соответствующих направлениях $K_{\zeta}(\tau), K_X(\tau), K_Y(\tau)$ или взаимно корреляционные функции ординат волнения и углов волнового склона по направлениям $R_{\zeta X}(\tau), R_{\zeta Y}(\tau)$, а также взаимной корреляционной функции углов волнового склона $R_{XY}(\tau)$.

С помощью косинус – преобразования Фурье для чётных моментов можно записать:

$$m_{00}^*(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} K_{\zeta}(\tau) \cos \omega \tau d\tau,$$

$$m_{20}^*(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} K_X(\tau) \cos \omega \tau d\tau,$$

$$m_{02}^*(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} K_Y(\tau) \cos \omega \tau d\tau,$$

$$m_{11}^*(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} R_{XY}(\tau) \cos \omega \tau d\tau.$$

И с помощью синус – преобразования Фурье для нечётных моментов:

$$m_{10}^*(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} R_{cX}(\tau) \sin \omega \tau d\tau,$$

$$m_{01}^*(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} R_{cY}(\tau) \sin \omega \tau d\tau.$$

Таким образом, для интервала $0 \leq \omega \leq \infty$ выражения для коэффициентов разложения ряда (4), могут быть записаны в следующей форме:

$$a_0 = \frac{2}{\pi^2} \int_0^{\infty} K_c(\tau) \cos \omega \tau d\tau,$$

$$a_1 = \frac{2}{\pi^2 k} \int_0^{\infty} R_{cX}(\tau) \sin \omega \tau d\tau,$$

$$b_1 = \frac{2}{\pi^2 k} \int_0^{\infty} R_{cY}(\tau) \sin \omega \tau d\tau, \tag{6}$$

$$a_2 = \frac{2}{\pi^2 k^2} \int_0^{\infty} [K_X(\tau) - K_Y(\tau)] \cos \omega \tau d\tau$$

$$b_2 = \frac{4}{\pi^2 k^2} \int_0^{\infty} R_{XY}(\tau) \cos \omega \tau d\tau.$$

Здесь $k = \frac{\omega^2}{g} = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число; λ – длина волны

Коэффициенты a_0 , a_2 и b_2 являются четными функциями от частоты ω , и всегда принимают положительные или нулевые значения, а коэффици-

енты a_1 и b_1 – нечетными и могут принимать отрицательные значения, что приводит к появлению отрицательных областей спектра. Рис. 3

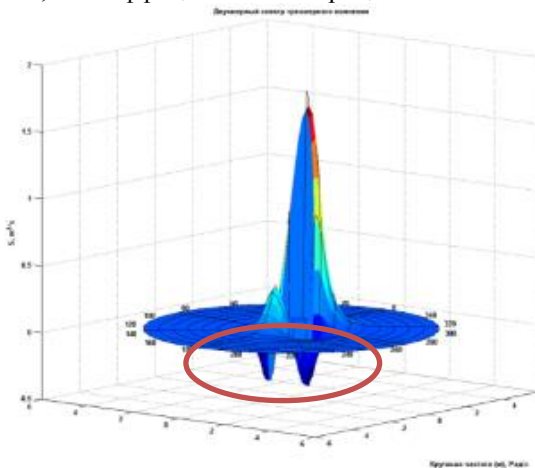


Рис. 3. Отрицательные области двухмерного спектра трёхмерного волнения, построенного по информации только об ординатах возвышений и углах волнового склона

Это противоречит физике процесса, однако абсолютно закономерно с точки зрения математики. Об этом писал и сам М. Лонге-Хиггинс [8], он пред-

$$S(\omega, \alpha) \approx \frac{1}{2} a_0 + \frac{2}{3} (a_1 \cos \alpha + b_1 \sin \alpha) + \frac{1}{6} (a_2 \cos 2\alpha + b_2 \sin 2\alpha). \tag{7}$$

Теоретически ряд Фурье представляет собой бесконечное число слагаемых. Поскольку в предложенном представлении он ограничен конечным

количеством членов, то это приводит к некому сглаженному приближению действительного пространственного спектра. Тем не менее, и М. Лонге-

Хиггинс и А.А.Свешников говорили о том, что на практике можно определять до девяти членов ряда по измерениям параметров взволнованной поверхности. В своей статье [8] М.Лонге-Хиггинс не при-

водит описание коэффициентов ряда, однако по аналогии с (7) представляет весовые коэффициенты для ряда с девятью членами.

ЭВОЛЮЦИЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ ТЕОРИИ

Теоретическая основа определения дополнительных четырех коэффициентов ряда была сделана Д.Е. Кортрайтом в 1964 году [10]. Кроме того, они раскрываются в книге М. Очи [11]. Эти исследователи показали, что если первые пять коэффициентов связаны с ординатами взволнованной поверхности и углами волнового склона, то следующие

четыре коэффициента связаны с кривизной взволнованной поверхности в двух перпендикулярных направлениях, при этом авторы не раскрывают физический смысл коэффициентов или математическое обоснование их значений. Очевидно лишь, что они являются первыми и вторыми пространственными производными соответственно.

Ряд из девяти членов с весовыми коэффициентами предложено записать в форме:

$$S(\omega, \alpha) \approx \frac{1}{2} a_0 + \frac{8}{9} (a_1 \cos \alpha + b_1 \sin \alpha) + \frac{28}{45} (a_2 \cos 2\alpha + b_2 \sin 2\alpha) + \frac{56}{165} (a_3 \cos 3\alpha + b_3 \sin 3\alpha) + \frac{14}{99} (a_4 \cos 4\alpha + b_4 \sin 4\alpha),$$

где выражения для первых пяти коэффициентов ряда определяются соотношениями (6), а остальные имеют вид:

$$\begin{aligned} a_3 &= \frac{2}{\pi^2 k} \int_0^\infty [R_{XX^2}(\tau) - 3R_{XY^2}(\tau) \sin \omega \tau] d\tau \\ b_3 &= \frac{2}{\pi^2 k} \int_0^\infty [3R_{YX^2}(\tau) - R_{YY^2}(\tau)] \sin \omega \tau d\tau \\ a_4 &= \frac{2}{\pi^2 k^2} \int_0^\infty [K_{X^2}(\tau) - 6R_{X^2Y^2}(\tau) + K_{Y^2}(\tau)] \cos \omega \tau d\tau \\ b_4 &= \frac{8}{\pi^2 k^2} \int_0^\infty [R_{X^2(XY)}(\tau) - R_{Y^2(XY)}(\tau)] \cos \omega \tau d\tau \end{aligned} \quad (8)$$

где: $R_{XX^2}(\tau)$; $R_{XY^2}(\tau)$; $R_{YX^2}(\tau)$; $R_{YY^2}(\tau)$ - взаимные корреляционные функции углов волнового склона и кривизны водной поверхности в соответствующих направлениях;

$K_{X^2}(\tau)$; $K_{Y^2}(\tau)$ - авто корреляционные функции кривизны водной поверхности в соответствующих направлениях;

$R_{X^2Y^2}(\tau)$ - взаимная корреляционная функция кривизны водной поверхности в соответствующих направлениях;

$R_{X^2(XY)}(\tau)$, $R_{Y^2(XY)}(\tau)$ - взаимная корреляционная функция кривизны водной поверхности и пространственной производной $\frac{\partial^2 \zeta}{\partial X \partial Y}(\tau)$.

Следует отметить, что весовые коэффициенты помогают устранить отрицательные области в спектре, однако искажают дисперсию.

Для измерения кривизны водной поверхности Кортрайтом был предложен волномерный буй [10], конструкция которого, по сути представляла не один буй, а три поплавка, шарнирно закрепленных к единой раме. При этом измерялись как угловые положения всей рамы, так и отдельных поплавков. Очевидно, что конструкция прибора оказалась ненадежной в условиях работы на развитом волнении и не получила распространения.

Развитие указанного эмпирического подхода к описанию трёхмерного морского волнения, а также сложность в инструментальном определении коэффициентов (8) привели к разработке алгоритма аппаратного определения направления бега волн с использованием спектра углов волнового склона. Учитывая, что по мере развития волнения волны превращаются в брейкеры с выраженным передним фронтом, а также то, что волномерные буи устанавливаются на якорь и их колебания в горизонтальной плоскости в основном происходят в направлении бега волн, пространственный спектр,

предложено представить в виде произведения углового распределения [12]:
плоского спектра двумерного волнения и функции

$$S(\omega, \alpha) = S(\omega)D(\omega, \alpha),$$

где $D(\omega, \alpha)$ - функция, характеризующая угловое распределение волновой энергии, которая подчиняется условию

$$\int_{-\pi/2}^{\pi/2} D(\omega, \alpha) d\alpha = 1.$$

Подробно с теорией выражения двумерного спектра волнения через функцию углового распределения можно ознакомиться в [13]. В различных источниках приводятся несколько отличающиеся записи $D(\omega, \alpha)$, например в [11] приведено выражение, которое прямым образом отображает описанное выше представление функции углового распределения. В данном случае для девяти членов ряда $D(\omega, \alpha)$ имеет следующий вид:

$$D(\omega, \alpha) = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2} + A_1 \cos \alpha + B_1 \sin \alpha + A_2 \cos 2\alpha + B_2 \sin 2\alpha + \right. \\ \left. + A_3 \cos 3\alpha + B_3 \sin 3\alpha + A_4 \cos 4\alpha + B_4 \sin 4\alpha \right), \quad (9)$$

где: коэффициенты $A_1 - B_4$ являются коэффициентами $a_1 - b_4$ нормированными путём деления на спектральную плотность плоского спектра $S(\omega)$.

$$\begin{cases} A_n(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} D(\omega, \alpha) \cos(n\alpha) d\alpha = \frac{1}{S(\omega)} \int_{-\pi}^{\pi} S(\omega, \alpha) \cos(n\alpha) d\alpha = \frac{a_n}{S(\omega)} \\ B_n(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} D(\omega, \alpha) \sin(n\alpha) d\alpha = \frac{1}{S(\omega)} \int_{-\pi}^{\pi} S(\omega, \alpha) \sin(n\alpha) d\alpha = \frac{b_n}{S(\omega)} \end{cases}$$

В [7, 8] предложено коэффициенты ряда выразить через спектральные плотности соответствующих процессов. В соответствии с теоремой Виннера-Хинчина спектральная плотность стационарного случайного процесса равна преобразованию Фурье соответствующей автокорреляционной функции данного процесса:

$$S_{xx}(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau, \quad (10)$$

Здесь индексы xx соответствуют виду реализации процесса; $R_{xx}(\tau)$ – автокорреляционная функция, которая для эргодических процессов может определяться через осреднение по времени. Выражение (10) применимо и для двух стационарных процессов. В этом случае следует воспользоваться преобразованием Фурье взаимной корреляционной функции этих процессов.

$$S_{xy}(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau) \cos \omega\tau d\tau - \frac{2}{\pi} i \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau) \sin \omega\tau d\tau$$

Значение спектральной плотности можно представить в виде суммы вещественной части $C_{xy}(\omega)$ и мнимой части $-Q_{xy}(\omega)$:

$$S_{xy}(\omega) = C_{xy}(\omega) - iQ_{xy}(\omega)$$

Подстрочные индексы xy процессов приведём к обозначению конкретных параметров колебаний, так вертикальную качку обозначим через индекс 1, крен – 2, дифферент – 3, индексами 4 и 5 обозначим вторые пространственные производные, характеризующие кривизну поверхности в соответствующих направлениях угловой качки. Таким образом, обозначение плоского спектра волнения соответствует записи:

$$S(\omega) = \pi a_0 = C_{11}(\omega)$$

Тогда коэффициенты $A_1(\omega) - B_4(\omega)$ можно записать следующим образом [12]:

$$A_1(\omega) = \frac{1}{k} \frac{Q_{12}(\omega)}{C_{11}(\omega)}$$

$$B_1(\omega) = \frac{1}{k} \frac{Q_{13}(\omega)}{C_{11}(\omega)}$$

$$A_2(\omega) = \frac{1}{k^2} \frac{C_{22}(\omega) - C_{33}(\omega)}{C_{11}(\omega)}$$

$$B_2(\omega) = \frac{2}{k^2} \frac{C_{23}(\omega)}{C_{11}(\omega)}$$

$$A_3(\omega) = \frac{Q_{24}(\omega) - 3Q_{25}(\omega)}{C_{14}(\omega) + C_{14}(\omega)}$$

$$B_3(\omega) = \frac{3Q_{34}(\omega) - Q_{35}(\omega)}{C_{14}(\omega) + C_{14}(\omega)}$$

$$B_4(\omega) = \frac{4(C_{46}(\omega) - C_{56}(\omega))}{C_{44}(\omega) + 2C_{45}(\omega) + C_{55}(\omega)}$$

где:

$$C_{11}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} S(\omega, \alpha) d\alpha$$

$$Q_{12}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} \cos \alpha S(\omega, \alpha) d\alpha$$

$$C_{23}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} \sin \alpha \cos \alpha S(\omega, \alpha) d\alpha$$

$$Q_{13}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} \sin \alpha S(\omega, \alpha) d\alpha$$

$$C_{22}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} \cos^2 \alpha S(\omega, \alpha) d\alpha$$

$$Q_{24}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} k \cos^3 \alpha S(\omega, \alpha) d\alpha$$

$$C_{33}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} \sin^2 \alpha S(\omega, \alpha) d\alpha$$

$$Q_{25}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} k \sin^2 \alpha \cos \alpha S(\omega, \alpha) d\alpha$$

$$C_{14}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} k \cos^2 \alpha S(\omega, \alpha) d\alpha$$

$$Q_{34}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} k \sin \alpha \cos^2 \alpha S(\omega, \alpha) d\alpha$$

$$C_{15}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} k \sin^2 \alpha S(\omega, \alpha) d\alpha$$

$$Q_{35}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} k \sin^3 \alpha S(\omega, \alpha) d\alpha$$

$$C_{44}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} k^2 \cos^4 \alpha S(\omega, \alpha) d\alpha$$

$$C_{45}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} k^2 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha S(\omega, \alpha) d\alpha$$

$$C_{46}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} k^2 \sin \alpha \cos^3 \alpha S(\omega, \alpha) d\alpha$$

$$C_{55}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} k^2 \sin^4 \alpha S(\omega, \alpha) d\alpha$$

$$C_{56}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} k^2 \sin^3 \alpha \cos \alpha S(\omega, \alpha) d\alpha$$

Коэффициенты ряда Фурье, выраженные подобным образом, представляются очень удобными к применению в практических алгоритмах вычислений.

Существует и другая форма записи функции углового распределения, которая основана на предположении, что функция углового распределения

подчиняется косинусоидально-степенному распределению [8]. Так, например национальный центр данных о волнении США [14] использует в алгоритмах своих буев следующее представление функции углового распределения энергии $D(\omega, \alpha)$:

$$D(\omega, \alpha) = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2} + r_1(\omega) \cos(\alpha - \alpha_1) + r_2(\omega) \cos 2(\alpha - \alpha_2) \right),$$

где

$$\left\{ \begin{array}{l} r_1(\omega) = \frac{1}{a_0} \sqrt{a_1^2(\omega) + b_1^2(\omega)} \\ r_2(\omega) = \frac{1}{a_0} \sqrt{a_2^2(\omega) + b_2^2(\omega)} \\ \alpha_1 = \arctg \frac{b_1(\omega)}{a_1(\omega)} \\ \alpha_2 = \frac{1}{2} \arctg \frac{b_2(\omega)}{a_2(\omega)} \end{array} \right.$$

здесь параметры $r_1(\omega)$ и $r_2(\omega)$ характеризуют распределение энергии волн, а параметры $\alpha_1(\omega)$ и $\alpha_2(\omega)$ определяют среднее и генеральное направление распространения волн соответственно.

При расчётах часто приводятся значения как одного, так и другого направления. Отметим, что указанный математический аппарат является развитием метода М. Лонге-Хиггинса и А. А. Свешникова.

Очевидно, что для построения графика двумерной спектральной плотности трёхмерного волнения по методу М. Лонге-Хиггинса, А. А. Свешникова информации об ординатах возвышений и углах волнового склона недостаточно. Как было показано, расчёт графика спектральной плотности волнения по первым пяти членам ряда в соответствии с выражением (4) приводит к появлению отрицательных областей в спектрах, представленных на рис. 8, а использование эмпирического выражения (7) позволяет лишь уменьшить эти области. Помимо этого, двумерный спектр, полученный по пяти членам ряда имеет довольно грубое приближение к действительному в связи с недостаточностью информации об угловом распределении энергии волн.

Однако получение информации о дальнейших членах ряда, зависящих от пространственных производных в соответствии с выражением (9), учёт которых мог бы исправить картину, представляется затруднительным с помощью простых ВБ. В связи с этим в мировой практике стали применять различные методы представления спектральной плотности [15], чтобы скомпенсировать указанный недостаток, вызванный недостаточностью измерительной информации. Таким образом появились методы описания пространственного морского волнения отличающиеся от предложенного М. Лонге-Хиггинсом и А. А. Свешниковым. К таким методам можно отнести: метод максимальной энтропии, метод максимального правдоподобия, метод Лонг-Хессельмана, метод Бейсиана и др. Эти методы изначально были разработаны для определения различных функций распределения, однако с учетом некоторых изменений были адаптированы и для определения спектра волнения по измерениям волномерного буя, регистрирующего ординаты возвышений и углы волно-

вого склона. Применение этих методов стало возможным в связи с тем, что функция углового распределения, так же, как и любая другая функция распределения является неотрицательной, интегрируемой функцией, с полным интегралом равным единице. Следует отметить, что она характеризует распределение энергии волн, а не их ординат или высот. Таким образом, выполняется условие, чтобы считать ее функцией плотности вероятности [11].

Использование метода максимальной энтропии (ММЭ) предполагает определение значений функции энтропии, которая зависит от взаимных спектральных плотностей измеряемых процессов волнения. Далее делается оценка функции углового распределения. Существует две вариации данного метода, одна из них предложена П. Бергом [16], вторая Е. Клаудом Шенноном [17]. Их часто определяют как ММЭ 1 и ММЭ 2 соответственно. ММЭ 1 довольно прост и быстр в расчетах, однако иногда дает ошибку в виде второго пика по направлению в спектре волнения, имеющего очевидное генеральное распространение волн. ММЭ 2 требует больше вычислений, однако лишен этого недостатка. Но при этом спектр становится очень узким с ярко выраженным направлением бег волн, что не всегда отражает распространение волн в других направлениях.

Метод максимального правдоподобия (ММП) основан на предположении, что функцию углового распределения можно представить в виде линейной комбинации взаимных спектральных плотностей с учётом максимального значения функции правдоподобия [18]. Недостатком этого метода является то, что в некоторых случаях он дает существенную ошибку в нахождении функции углового распределения в сравнении с априорно известной. Для устранения этого недостатка было предложено применять серию итераций (ИММП) с определенными параметрами сравнения для того, чтобы откорректировать расчетную оценку.

Метод Лонг-Хессельмана (МЛХ) предполагает серию итерационных приближений полученной расчётной оценки функции углового распределения таким образом, чтобы она соответствовала исходным условиям равенства единице интеграла

функции и неотрицательности всех её значений. [19].

Метод Бейсиана основан на предположении, что функция углового распределения состоит из равноразмерных отрезков-функций, количеством K на отрезке от 0 до 2π . Обычно число отрезков K принимают в диапазоне от 40 до 90, что с одной стороны приводит к повышению разрешающей способности, но с другой к не всегда оправданному усложнению алгоритма вычислений [17].

На рисунке 4 представлены изображения пространственных спектров полученных по методу ММЭ и классическому методу М.Лонге-Хиггинса, А.А.Свешникова одного и того же волнения. Следует отметить, что спектры представлены в разных

видах – развернутом и радиальном. Также различна и форма представления – слева шкала логарифмическая, справа – энергетическое значение спектра. Это обусловлено формой представления волномерных буев [20] с которых получены данные спектры. Тем не менее, можно отметить явно выделяющийся второй пик в спектре по ММЭ 1, в то время как в спектре по методу Лонге-Хиггинса он явно меньше. Второй пик может быть обусловлен особенностью ММЭ 1, о чем упоминалось выше. С другой стороны метод М.Лонге-Хиггинса, А.А.Свешникова дает более сглаженный спектр, в котором сложнее выделить энергетические составляющие по направлениям.

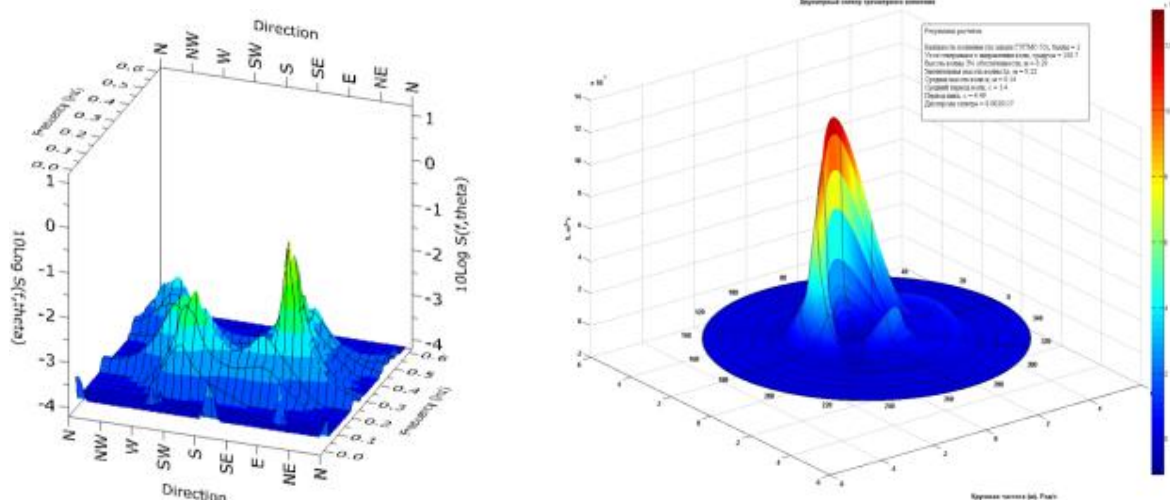


Рис. 4. Сравнение пространственных спектров по методу ММЭ (слева) и классическому методу Лонге-Хиггинса (справа)

В литературных источниках [17, 19, 21] приведены результаты сравнительных исследований описанных методов применительно к оценке пространственного спектра волнения. Авторы указывают на наличие отрицательных областей в спектрах, построенных с использованием классического метода М.Лонге-Хиггинса, А.А.Свешникова наличие двойных пиков в спектрах, полученных по методу ММЭ и несоответствие функции углового распределения априорно известной в спектре, построенном по методу ММП. Большинство авторов в своих заключениях отмечают, что наиболее соответствующие действительности результаты дают ИММП и ММЭ 2 [22]. Не смотря на определенные недостатки подобных методов, они позволяют получить более узкий спектр, что в свою очередь увеличивает информативность для определения генерального направления распространения волн.

ВЫВОДЫ

Спектральная теория описания пространственного морского волнения создавалась и развивалась с целью получения информации не только об энергии ветровых волн, распространяющихся в генеральном направлении, но и энергии зыби, направ-

ление движения которой отличается от направления движения ветровых волн.

Применение спектральной теории волн для практических расчётов и её дальнейшее развитие к концу 20 века привело к общему признанию математического аппарата, предложенного М.Лонге Хиггинсом и А.А.Свешниковым, в основу которого положены не только теоретические но и эмпирические выражения. Подход к описанию морской поверхности с привлечением эмпирических поправок связан с необходимостью гармонизации физических законов с математическим описанием. Он во многих случаях решает практические задачи описания морской поверхности и определения генерального распространения волн, однако не всегда приводит к адекватной оценке направления и энергии волн, распространяющихся с других направлений. Следует отметить, что слагаемые уравнения отражают различные виды энергии, формирующие профиль волны. Это энергия, приводящая к вертикальным возвышениям профиля, формированию углов волнового склона и пространственной производной. Учитывая то, что форма волны зависит и от сил демпфирования, влияющих на скорость распространения волн, следовало бы учитывать энер-

гию и от этого параметра. Очевидно и то, что члены ряда (9) более пятого имеют второй порядок малости, а слагаемые, учитывающие пространственные производные представляют собой лишь малые добавки энергии.

Недостаток измерительной информации, необходимый для гармонизации физических представлений о волнении с его математическим описанием, привёл к появлению других методов, оперирующих первыми пятью членами ряда Фурье и позволяющих определить в основном генеральное распространение движения волн. Однако задача получения спектральных характеристик волнения с известной точностью так и не была решена.

Решение этой задачи видится в определении значений членов ряда Фурье более пятого, которые могли бы увеличить точность оценки параметров пространственного спектра М. Лонге-Хиггинса, А.А. Свешникова. Для этого целесообразно использовать дополнительную информацию, основанную на модели волнения и позволяющую определить вторые пространственные производные в выражении (9). Попытки получения такой информации с помощью технических средств известны [23], однако такие приборы имеют очень ненадёжную конструкцию и потому не получили распространения. Таким образом, дальнейшее исследование в данной области видится в определении способов косвенной оценки дополнительных параметров волн по результатам измерений волномерных буёв классической конструкции.

Список литературы

1. Robert G. W. *Wave Buoys: Using the Right Tool for the Right Job* // Robert G. W., C. Reid N., Tony E. University of New Orleans, *Ocean Waves Workshop*, 2013
2. «Режим, диагноз и прогноз ветрового волнения в морях и океанах Под редакцией д-ра географ. наук. Е.С. Нестерова Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ М. 2013. 292с.
3. National Data Buoy Center. *Handbook of Automated Data Quality Control Checks and Procedures*. NDBC Technical Document 09-02. 2009.
4. Рахманин Н.Н. *Стохастическое описание морской поверхности*. С-Пб ГМТУ 1994. 51 с.
5. Скворцов М.И. *Основы кораблевождения*. Под редакцией А.Н. Мотрохова М. Военное издательство МО СССР, 1972.
6. Свешников А.А. *Прикладные методы теории случайных функций*. М.: Наука, 1968.
7. *Ветровые волны: Сб. ст. под ред. Крылова Ю.М. М.: изд-во. ИЛ, 1962.*
8. Longuet – Higgins M.S., Cartwright D.E., Smith N.D. *Observations of the directional spectrum of sea waves using the motions of sloating buoy*. // *Prentice – Hall Ocean wave spectra*, 1963 p. 111-136.
9. Свешников А.А. *Определение вероятностных характеристик трёхмерного волнения моря*. // *Известия АН СССР ОИХ Механика и машиностроение*, 1959, N 3, с. 32-41.
10. Cartwright, D. E. *Buoy techniques for obtaining directional wave spectra* / Cartwright, D. E., N. D. Smith // *Buoy Technology, Washington, D.C., Marine Tech. Soc.* 1964. P. 112 – 121.
11. Michel K. Ochi. *Ocean Waves The Stochastic Approach*, Cambridge ocean technology, series 6, 1998.
12. Kuik A.J., Vledder G.Ph. van, Holthuijsen L.H., *A method for the Routine Analysis of Pitch-and-Roll Buoy Wave Data*, *Journal of Physical Oceanography*, vol 18, no 7. 1988. pp 1020-1034
13. D. Hauser. *Measuring and Analysing the Directional Spectra of Ocean Waves - Working Group 3* // . Hauser, K. Kahma, H. E. Krogstad, S. Lehner, J. A. J. Monbaliu, L.R. Wyatt, *COST action 714, EU Publications Office*, 2005
14. National Data Buoy Center. *Nondirectional and Directional Wave Data Analysis Procedures*. NDBC Technical Document 96-01. 1996
15. Earle, M.D. *Use of advanced directional wave spectra analysis methods* / M.D. Earle, K.E. Steele, D.W.C. Wang // *Neptune Sciences Inc. report for National Data Buoy Center, Stennis Space Center*. 1998. 14 pp.
16. J.P. Burg, *Maximum entropy spectral analysis*, PhD Thesis Report, Stanford University, USA, 1975.
17. M. Benoit, P. Frigaard, A. Schäffer. *Analysing multidirectional wave spectra: alternative classification of available methods*, In: *Proc. 27th IAHR Congress, Seminar on multidirectional waves and their interaction with structures*, San Francisco, USA, 1997, pp. 131-158.
18. Krogstad H.E. *Maximum likelihood estimation of ocean wave spectra from general arrays of wave gauges*. *Modeling, identification and control*, vol. 9, 1988. pp. 81-97.
19. Oltman-Shay, J. and Guza, R.T. *A data adaptive ocean wave directional spectrum estimator for pitch/roll type measurements*, *J. Phys. Oceanogr.*, 14, 1984. 1800-10.
20. *Datawell Waverider Manual for WR-SG, DWR-MkIII, DWR-G*. Datawell Bv. Netherlands 2010.
21. M. Donelan. *A comparison of methods for estimating directional spectra of surface waves* // M. Donelan, A. Babanin, E. Sanina, D. Chalikov. *Journal of Geophysical Research: Oceans* p. 120. 2015
22. S.F. Barstow. *Measuring and Analysing the directional spectrum of ocean waves* // S.F. Barstow, Jean-Raymond B., S. Caires, M.A. Donelan, W.M. Drennan, et al... *COST Office*, pp.465, COST 714; EUR 21367. 2005.
23. Cartwright, D. E. *Buoy techniques for obtaining directional wave spectra* / Cartwright, D. E., N. D. Smith // *Buoy Technology, Washington, D.C., Marine Tech. Soc.* 1964. P. 112 – 121.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МЭМС-КНИМТ ТЕНЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ В ЖЁСТКИХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

MEMS- SOI pressure sensors design optimization for aviation and space rocket technology harsh environments

А.В. Соколов

Жуковский филиал АО «РПКБ», 140185 Московская область, г. Жуковский, ул. Туполева, 18,
Sokolov@niiac.ru

Приведены методы и результаты проведённых исследований по оптимизации конструкции микроэлектромеханических тензопреобразователей датчиков давления для жёстких условий эксплуатации авиационной и ракетно-космической техники как на ранних этапах проектирования преобразователей – методом компьютерного моделирования и экспериментально на тестовых чипах преобразователей, так и на изготовленных образцах чипов пилотной партии – методом Рамановской спектроскопии.

Введение

На объектах авиационной и ракетно-космической техники контроль давления составляет почти половину всех измерений. К датчикам давлений, устанавливаемым на таких объектах и подвергающихся на различных этапах обработки и эксплуатации воздействию повышенных температур, ударов и вибраций, ионизирующих излучений, жестких электромагнитных помех, предъявляются высокие метрологические и эксплуатационные требования. При этом надёжность электронных систем (управляющих, информационно-измерительных и других) авиационной и ракетно-космической техники, особенно в жёстких условиях эксплуатации, во многом определяется надёжностью работы и стабильностью метрологических параметров датчиков. Технические характеристики датчиков закладываются на этапах проектирования конструкции датчиков и требуют, прежде всего, оптимизации конструкции чувствительного элемента (ЧЭ).

В последние годы отчетливо наблюдается тенденция внедрения микромеханических преобразователей на основе кремния или гетероструктуры кремний-на-изоляторе (КНИ) в новые разработки различных отраслей промышленности и, прежде всего, авиационной и ракетно-космической (микромеханические акселерометры и гироскопы инерциальных систем, микроэлектромеханические датчики давления аэроматрических систем и систем автоматического управления). При этом датчики рассматриваются как базовые элементы таких электронных систем [1]. В большей степени таким требованиям соответствуют микроэлектромеханические датчики давления на основе КНИ гетероструктуры (МЭМС-КНИ) благодаря, прежде всего, физико-технологическим и конструктивным особенностям МЭМС-КНИ тензопреобразователей. Экспериментальными исследованиями процессов

деградации при спецвоздействиях установлено [2], что приборы с КНИ структурами сохраняют свои электрические параметры при температурах до 250–300°C и остаются работоспособными при воздействии гамма-радиации до дозы $10^5 - 5 \times 10^5$ Гр.

Известны теоретические исследования в области физики твёрдого тела с приближённой оценкой упругих деформаций на пластинах из изотропных материалов и моделях простейших кристаллов с кубической или гранецентрированной кристаллической решёткой [3]. Исследования по оптимизации тензочувствительности датчиков в зависимости от позиционирования интегральных тензорезисторов с учётом кристаллографической ориентации в кремниевой мембране для датчиков с не профилированной микромеханической структурой изложены в монографии профессора В.И. Ваганова [4].

Экспериментальные исследования по оптимизации трёхмерной мембранной микромеханической структуры МЭМС кремниевого интегрального мультисенсора давления-температуры и тензочувствительности в зависимости от позиционирования интегральных тензо-и термо-резисторов с учётом кристаллографической ориентации кремния изложены в работах [5,6]. Обобщённая информация по вопросам проектирования микромеханических тензопреобразователей с гетероструктурой КНИ изложена в учебном пособии, изданном в МАИ [7] и в монографии [8]. Теоретические и экспериментальные исследования по оптимизации тензочувствительности датчиков давления в зависимости от позиционирования 3D тензорезисторов с учётом кристаллографической ориентации кремния в КНИ микромеханической гетероструктуре типа «изолированная монокристаллическая тензорамка на кремниевой мембране» МЭМС преобразователя давления (МЭМС-КНИМТ) не обнаружены.

Объект Исследования

Объектом исследования является чип МЭМС-КНИМТ тензопреобразователя давления, приведённого на рисунках 1а и 1б [8, 9]. Тензорамка трапецеидального сечения соединяется своим широким основанием с мембраной через тонкий слой стекла, обеспечивающий гальваническую развязку тензорамки и мембраны. При этом монокристаллическая рамка одновременно является как функциональ-

ным, так и конструктивным элементом микроэлектромеханической системы и состоит из четырёх

тензорезисторов равной длины, образующих симметричный измерительный мост Уинстона.

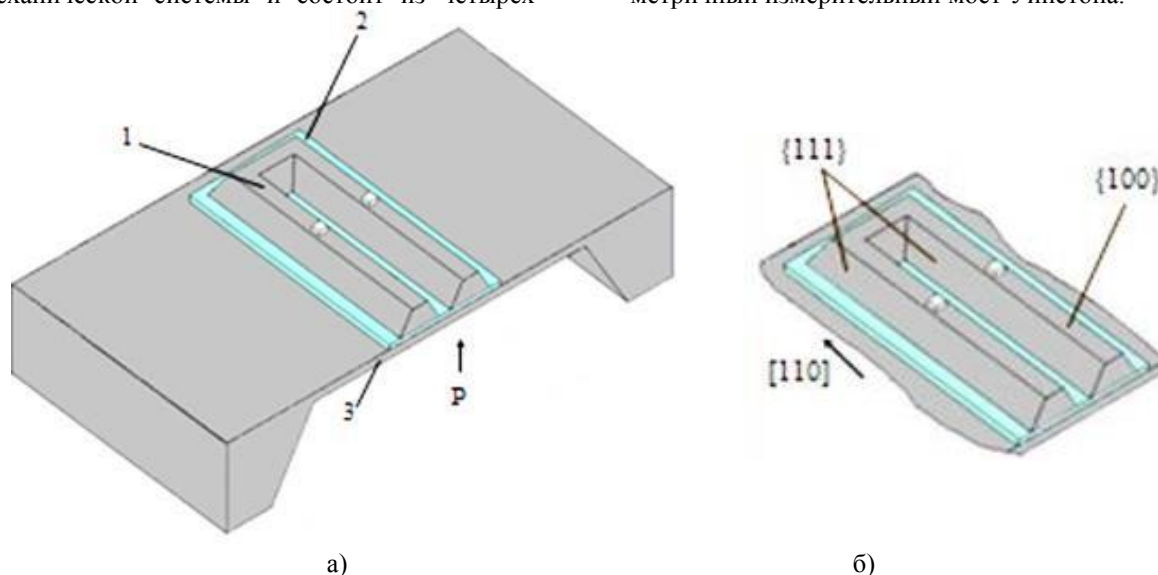


Рис. 1. Устройство МЭМС-КНИМТ тензопреобразователя давления: поперечное сечение чипа тензопреобразователя (а) 1 – монолитная тензорамка, 2 – тонкий диэлектрический слой, 3 – мембрана; расположение кристаллографических плоскостей и направлений (б)

В качестве изолирующего слоя используется тонкий слой стекловидного диэлектрика на основе оксидов $BaO-Al_2O_3-SiO_2$, температурный коэффициент расширения (ТКР) которого хорошо совпадает с ТКР кремния в рабочем диапазоне температуры преобразователя. Таким образом, сформирована КНИ гетероструктура «кремниевая тензорамка - слой стекловидного диэлектрика - кремниевая мембрана» микромеханической системы тензопреобразователя.

Расширение диапазона рабочей температуры, снижения чувствительности к воздействию гамма-радиации достигается преимуществом конструкции тензопреобразователей на основе КНИ микроэлектромеханической системы (ЧЭД) а именно, гальванической развязкой кремниевой монолитной тензорамки и кремниевой мембраны тензопреобразователя промежуточным тонким слоем неорганического диэлектрика, имеющем бесконечное электрическое сопротивление и конечное тепловое сопротивление в отличие от способа изоляции обратным смещённым р-п переходом интегральных тензорезисторов [4], что позволяет исключить токи утечки, минимизировать перегрев тензорезисторов, а также снизить чувствительность к воздействию гамма-радиации [8].

Исследования по оптимизации конструкции ЧЭД

Оптимизация конструкции ЧЭД выполнялась по результатам оценки распределения упругих дефор-

маций на рельефной поверхности ЧЭД, полученных путем компьютерного моделирования [10] и экспериментальным методом Рамановской спектроскопии [1].

Для компьютерного моделирования использовался пакет COMSOL FEMLAB, позволяющий решать задачи в области деформируемого твердого тела методом конечных элементов. Интенсивность напряжений в Comsol FemLab (эквивалентные напряжения по Мизесу) в каждой точке вычисляют по формуле:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2},$$

где $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ – главные напряжения.

Система координат декартова и вводится в центре мембраны. При этом ось O_y направлена вдоль длинной стороны рамки, ось O_x – вдоль короткой, ось O_z – перпендикулярно поверхности (100) мембраны.

Распределение напряжений получено на поверхности МЭМС с учетом анизотропных и электрофизических свойств кремния.

Распределение интенсивности напряжений с учетом анизотропных и электрофизических свойств кремния получено для двух типоразмеров из унифицированного ряда преобразователей МЭМС-КНИМТ.

Для первого типоразмера (номинальное давление $P = 50$ кПа) распределение напряжений показано на рисунках 2а, 2б и 2в и на графике (рисунок 3).

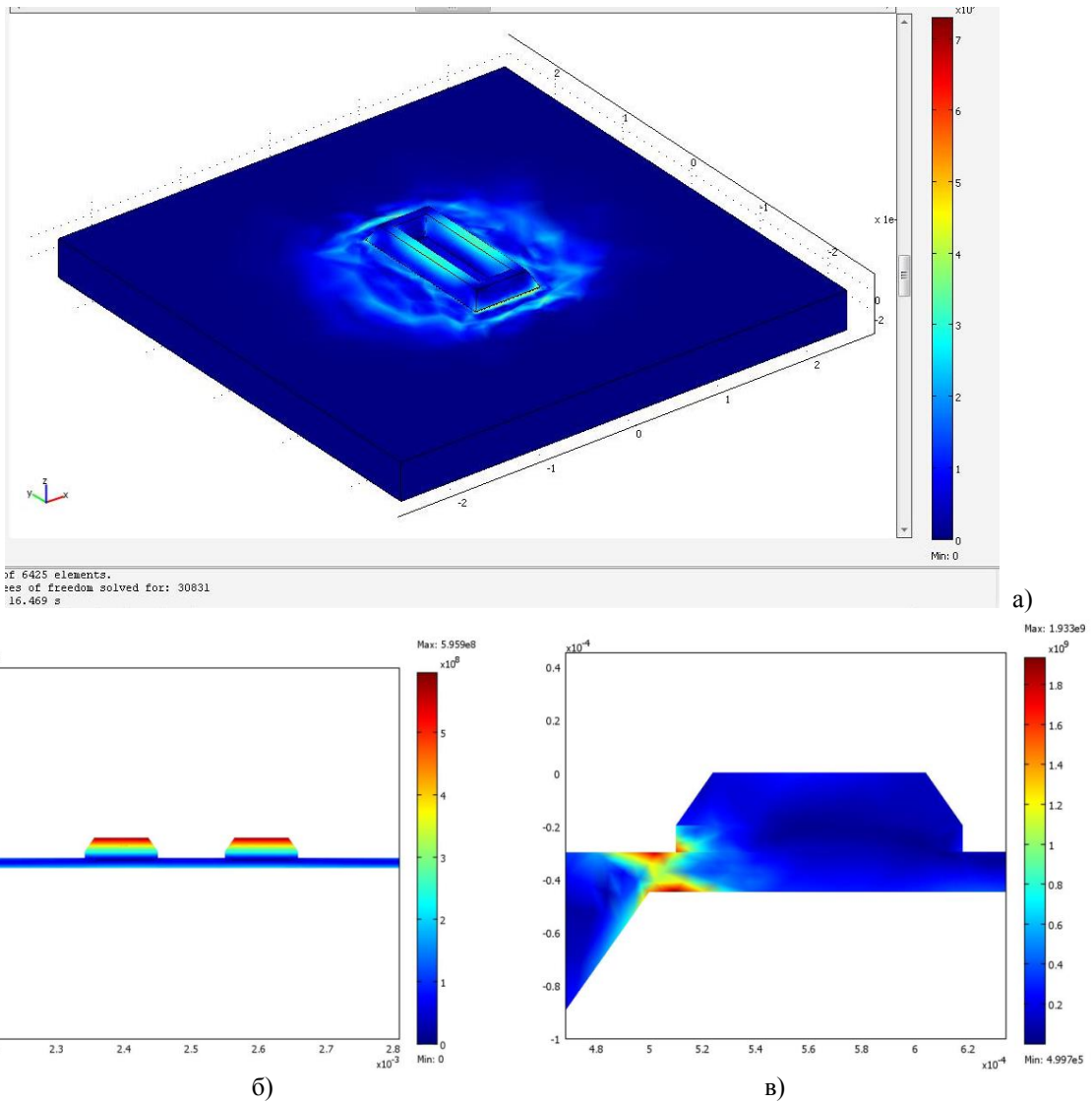


Рис. 2. Распределение интенсивности напряжений для номинального давления $P = 50$ кПа: на поверхности чипа преобразователя (а); для поперечного сечения (б); по границам сопряжения тензорамки с мембраной в продольном сечении (в)

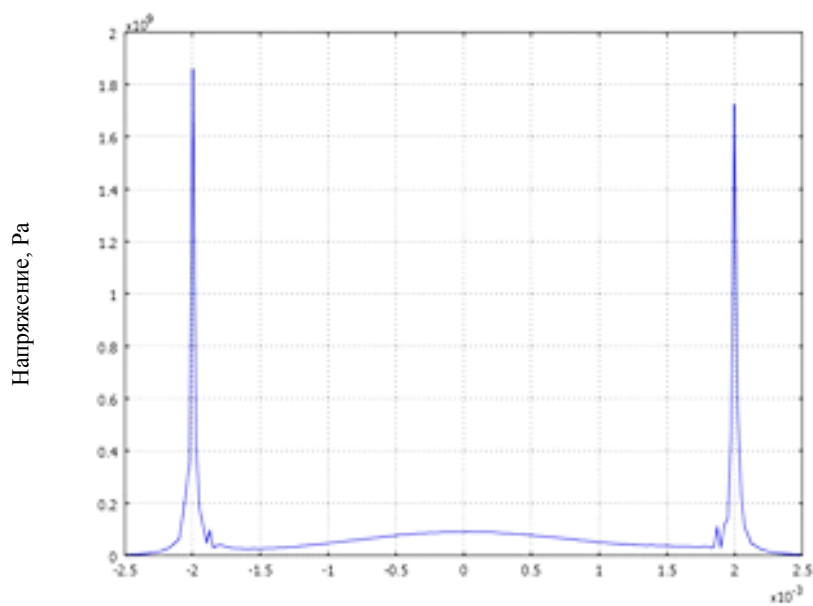


Рис. 3. График распределения эквивалентных напряжений в продольном сечении (по координате y) при $P = 50$ кПа

Для второго типоразмера (номинальное давление $P = 2000$ кПа) распределение интенсивности напряжений показано на рисунках 4а, 4б и 4в и на графике (рисунок 5).

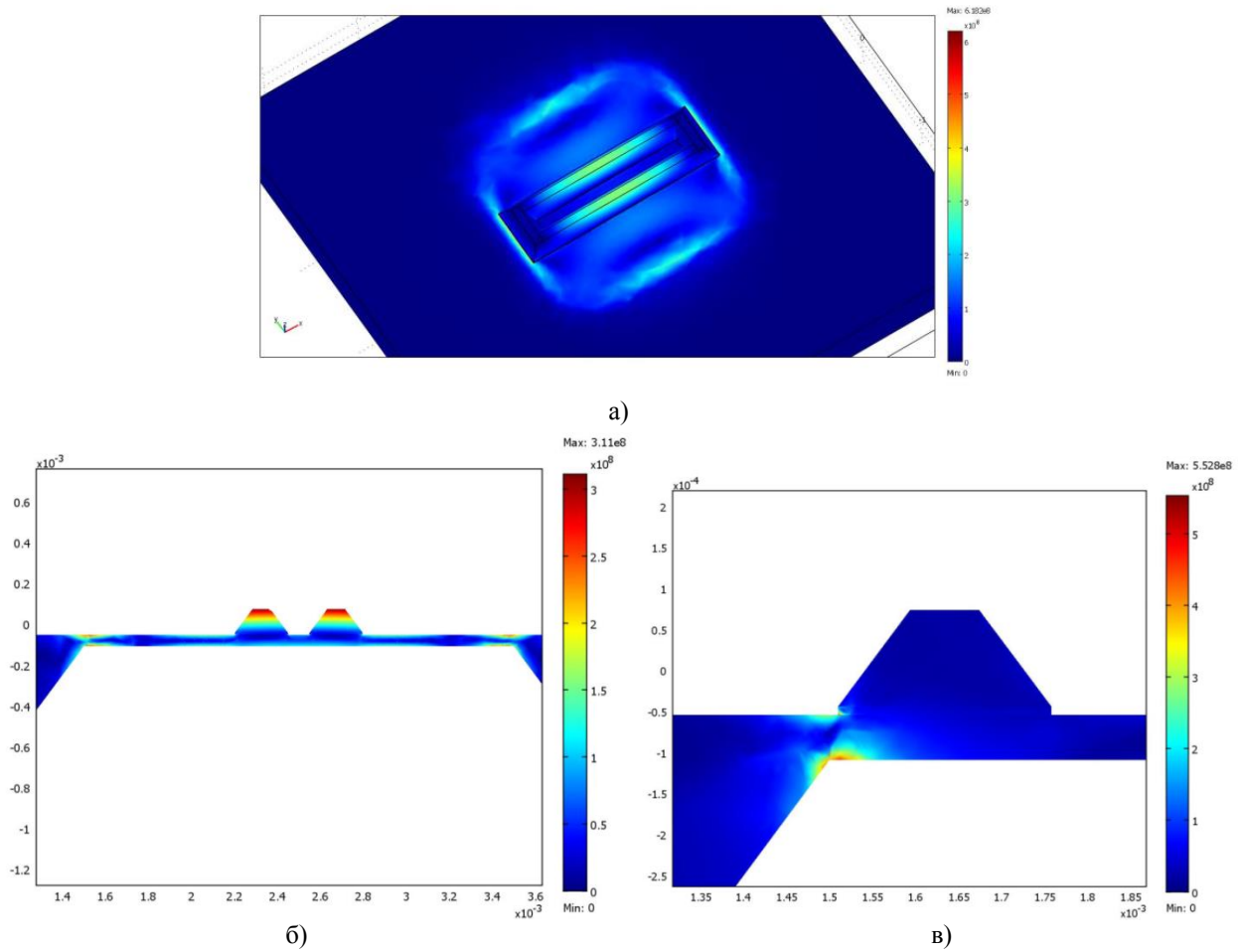


Рис. 4. Распределение интенсивности напряжений для номинального давления $P = 2000$ кПа: на поверхности чипа преобразователя (а); для поперечного сечения (б); по границам сопряжения рамки с мембраной в продольном сечении (в)

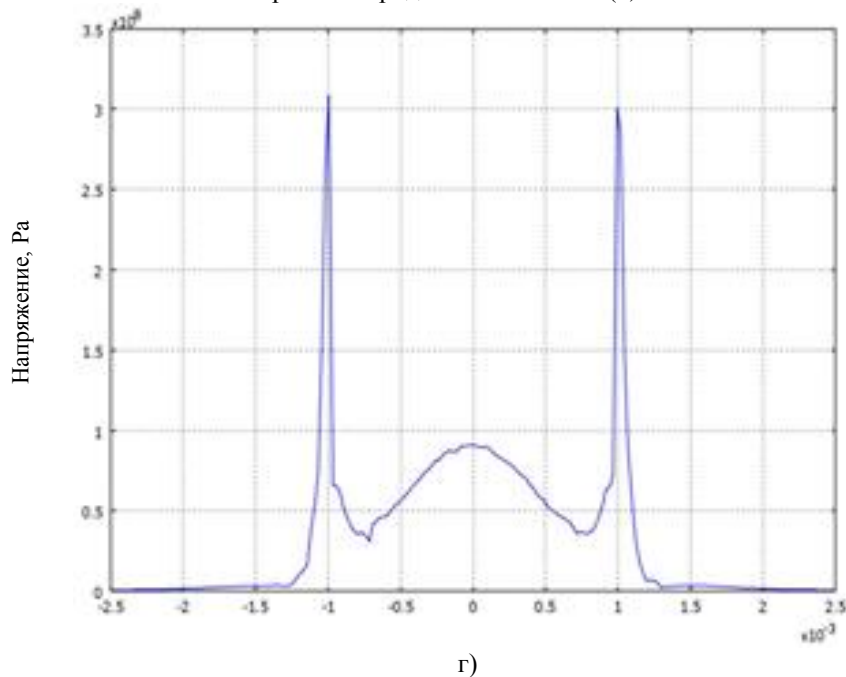


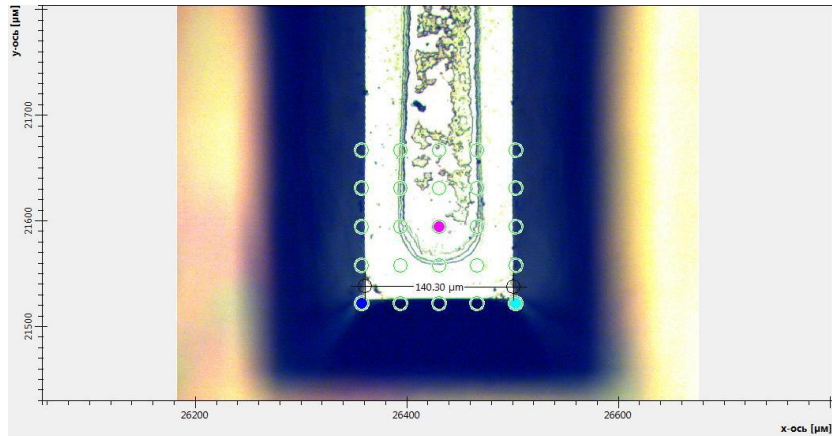
Рис. 5. График распределения эквивалентных напряжений в продольном сечении (по координате y) $P = 2000$ кПа

Исследования методом Рамановской спектроскопии проводились с помощью дисперсионного микроскопа комбинационного рассеяния Senterra II фирмы ООО «Bruker». Значения пиков волнового числа определялись в напряжённом состоянии чипа тензопреобразователя, обусловленном остаточными напряжениями микромеханической мембранной структуры в заданных точках вблизи углов тензорамки (рис. 6,а) и вблизи центра рамки в поперечном направлении (рис. 6,б).

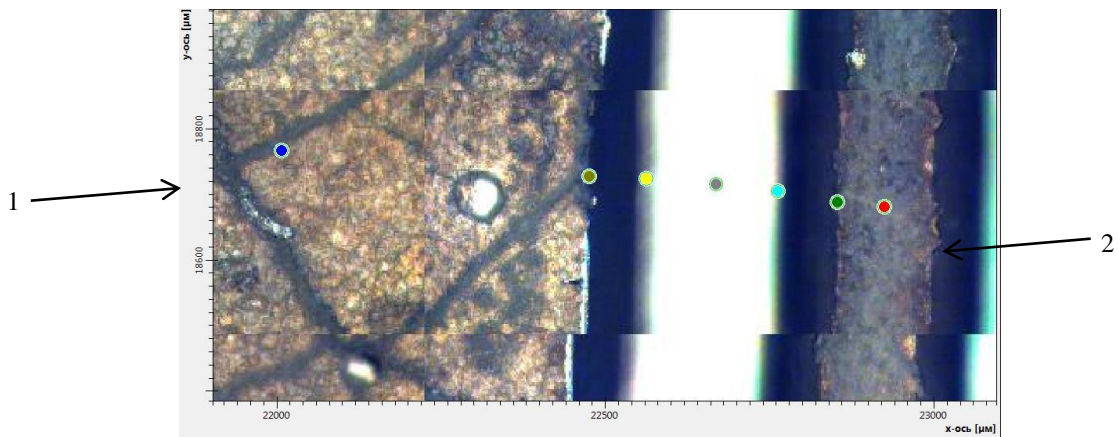
Кроме этого – в виде цветовой схемы вблизи углов тензорамки в трёхмерном изображении (рис. 8а) и на плоскости (рис. 8б).

По измеренным значениям пиков выполнен расчёт напряжений (в МПа) по известной формуле [6]:

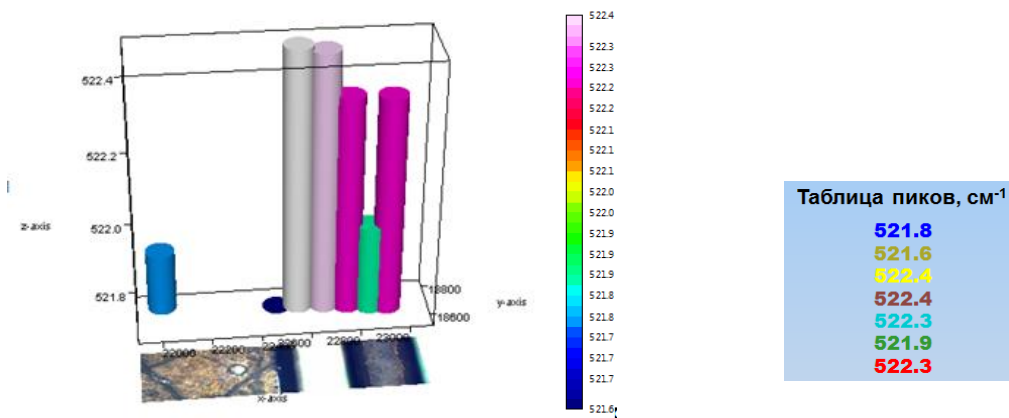
$$\sigma \text{ (МПа)} = -435 (W - W_0),$$
 где W – пик волнового числа в напряжённом состоянии чипа тензопреобразователя, $W_0 = 520,5$ – пик волнового числа в ненапряжённом состоянии кремния.



а)



б)



в)

Рис. 6. Изображение фрагментов микромеханической структуры чипа тензопреобразователя с точками измерения упругих напряжений вблизи углов тензорамки с апертурой 25 мкм (а); вблизи центра рамки в поперечном

направлении (б) и градиация сдвига пиков волнового числа вдоль поперечной оси чипа преобразователя относительно пика волнового числа $W_0 = 520,5$ в ненапряжённом состоянии кремния (в)

Смещение пиков вдоль оси волновых чисел в заданных точках 1 и 2 микромеханической структуры внутри щели преобразователя вблизи углов

тензорамки относительно пика волнового числа в ненапряжённом состоянии кремния показано на рисунке 7.

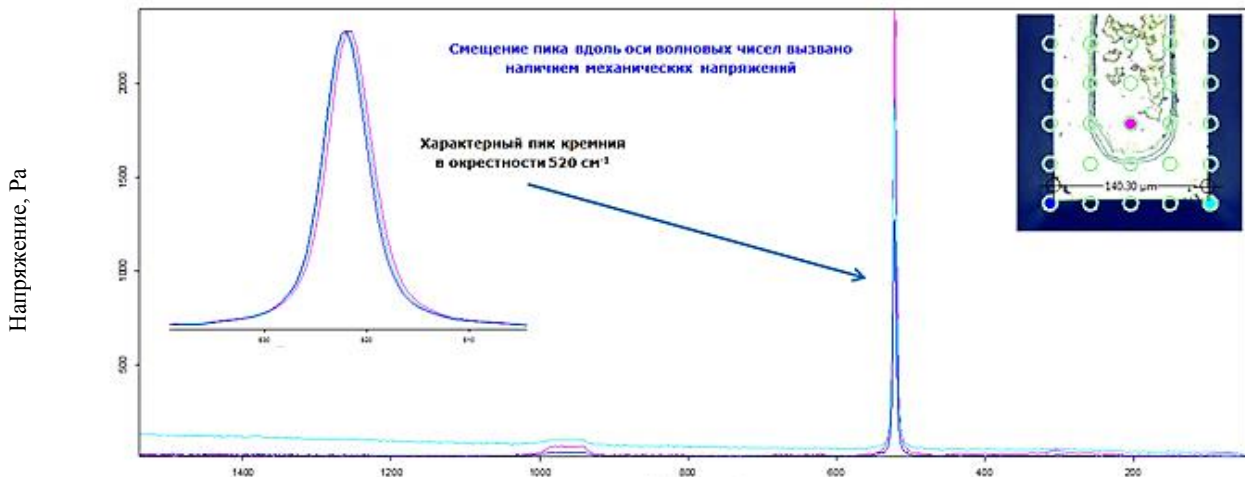


Рис. 7. Смещение пиков вдоль оси волновых чисел в заданных точках 1 и 2 микромеханической структуры внутри щели преобразователя вблизи углов тензорамки относительно пика волнового числа в ненапряжённом состоянии кремния

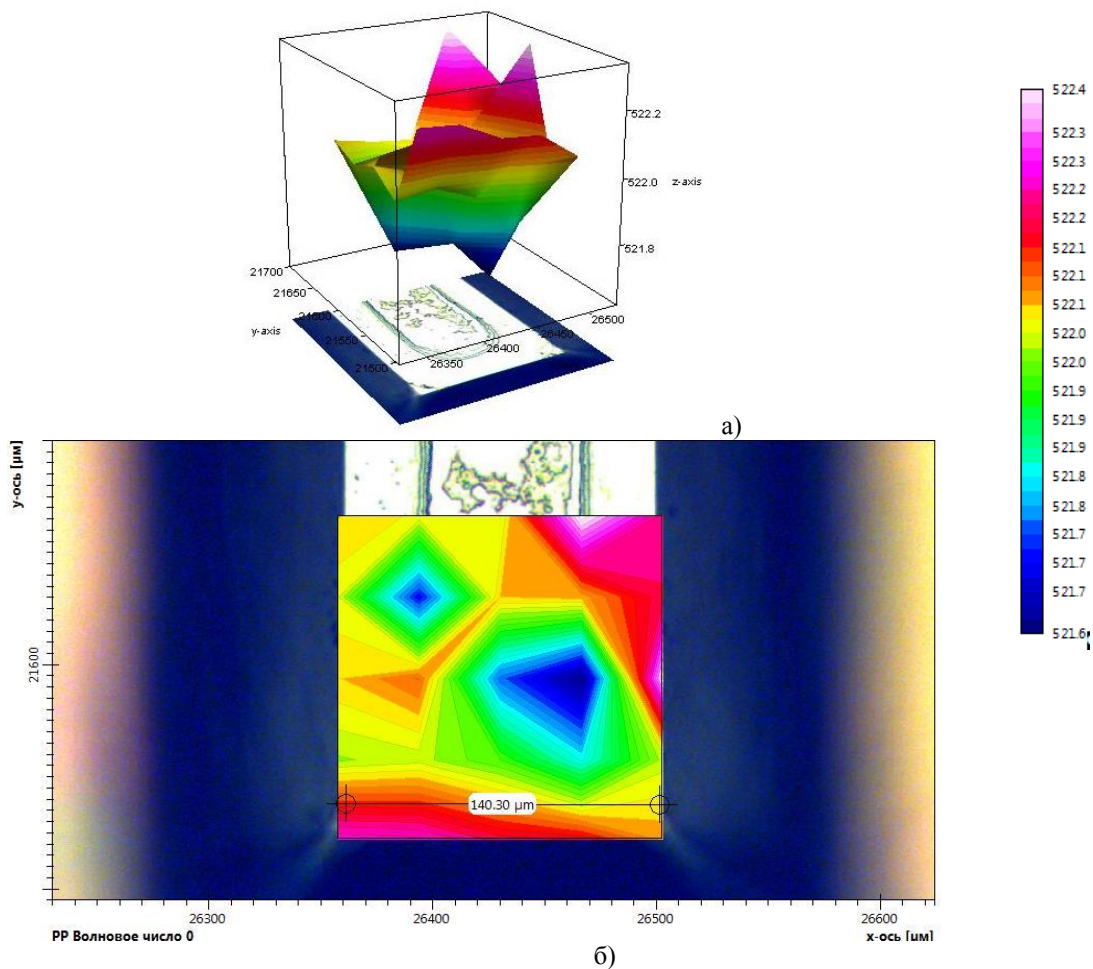


Рис. 8. Распределение остаточных напряжений вблизи углов тензорамки: в виде трёхмерной цветовой схемы (а); в виде двумерной цветовой схемы (б)

Полученные расчётные значения предельных статических напряжений сжатия в поперечном направлении вблизи центра рамки сравнивались с известными статическими напряжениями в микромеханических кремниевых структурах-аналогах [11].

Результаты исследований и их обсуждение

Экспериментально установлен характер распределения статических упругих напряжений в локальных областях микромеханической структуры чипа КНИ тензопреобразователя давления с максимумами напряжений на боковых гранях $\{111\}$ рамки вблизи границы их пересечения с плоскостью (100) , а также определены величины и знак напряжений сжатия.

Двум точкам вблизи углов тензорамки (рис.6) красной вблизи продольной оси симметрии, а синей – в углу рамки соответствуют смещения пиков вле-

во относительно пика волнового числа в ненапряжённом состоянии кремния (рис. 7). Такое смещение характеризует напряжения сжатия в указанных точках на чипе тензопреобразователя. Уровень напряжения в точке 1 несколько больше чем в точке 2, что соответствует теории микромеханики для мембраны с рельефной поверхностью.

В таблице 1 приведены расчётные значения предельных статических напряжений сжатия в поперечном направлении вблизи центра рамки в сравнении с кремниевым микромеханическим аналогом. Наблюдается примерное совпадение интервалов предельных значений изменения величины напряжений в исследуемых образцах с кремниевыми микромеханическими структурами-аналогами [11].

Таблица 1. Расчётные значения предельных напряжений сжатия вдоль продольной оси чипа преобразователя в сравнении с кремниевым аналогом

| Расчётные значения, МПа | |
|---------------------------|------------------|
| Экспериментальные образцы | МЭМС-аналог [11] |
| - 391,5 | -200 |
| - 870,0 | - 1000 |

Из результатов анализа цветовой схемы вблизи углов тензорамки в трёхмерном изображении (рис. 8,а) и на плоскости (рис. 8,б) следует, что максимумы напряжений распложены на боковых гранях $\{111\}$ рамки вблизи границы их пересечения с плоскостями $\{100\}$, что совпадает с результатами компьютерного моделирования.

По результатам оптимизации конструкции были изготовлены пилотные партии чипов тензопреобразователей МЭМС-КНИМТ с оптимизированными размерами (рис. 9) и тензо-преобразовательных модулей на их основе (рис.10).



Рис. 9. Фотография 3D тензорамки чипа преобразователя МЭМС-КНИМТ с размерами

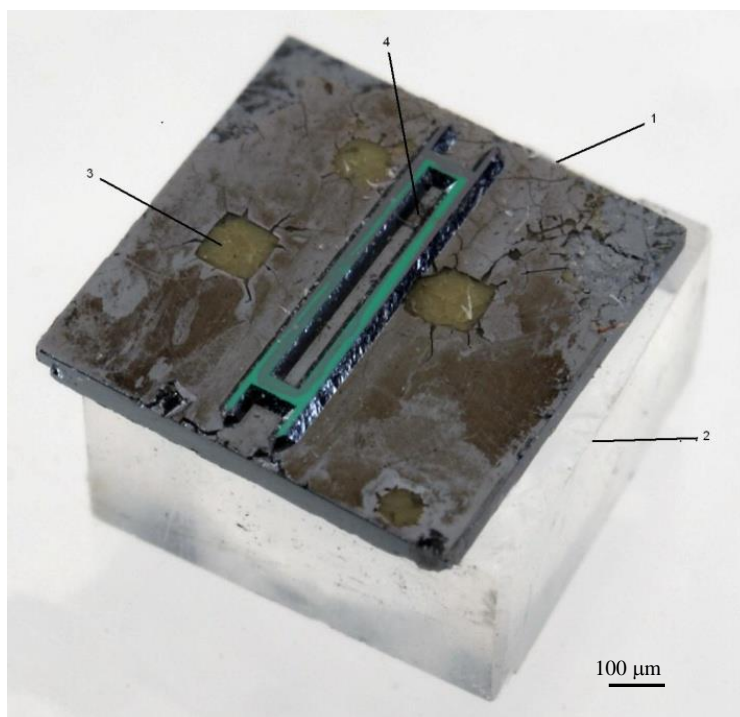


Рис. 10. Фотография тензомодуля абсолютного давления: 1 – 3D чип МЭМС-КНИМТ преобразователя; 2 – опорный элемент 3 – отпечатки торцов П-образного электрода на слое стекловидного диэлектрика после анодного сращивания, 4 – следы плохо удалённых продуктов травления.

В настоящее время согласовано с исполнителем ТЗ на изготовление опытной партии МЭМС-КНИМТ тензопреобразователей.

В таблице 2 приведены ожидаемые технические характеристики датчика абсолютного давления МЭМС-КНИМТ с электронной схемой обработки сигнала.

Табл. 2. Ожидаемые технические характеристики датчика абсолютного давления МЭМС-КНИМТ

| | |
|---|--------------------------------------|
| Рабочий диапазон измерений, перекрываемый рядом унифицированных датчиков, кПа | от 15 до 4437 |
| Погрешность от измеряемой величины давления в диапазоне измерений 10...100% при всех дестабилизирующих условиях эксплуатации, % | не более 0,5 |
| Рабочий температурный диапазон: а) для встроенной в корпус датчика электроники, °С б) для выносной электроники, °С | минус 60 ...+125 минус 60 ...+250 |
| Долговременная нестабильность, %/год | не более 0,1 |
| Ресурс датчиков, час | не менее 100000 |
| Выходной сигнал датчика | цифровой код по ГОСТ 18977 изм. 3. |

Заключение

1. На основе результатов исследований распределения упругих напряжений в локальных областях микромеханической структуры чипа МЭМС-КНИМТ тензопреобразователя давления оптимизирована конструкция чипа по тензочувствительности при минимальной нелинейности преобразовательной характеристики: в поперечном направлении тензорамка своими длинными сторонами максимально приближена к продольной оси симметрии, которая совпадает с кристаллографическим направлением [110] кремния, а в продольном своими короткими сторонами максимально приближена

к границам раздела между микромеханической мембранной структурой и периферийной частью чипа преобразователя.

2. Установлен характер распределения упругих напряжений в локальных областях микромеханической структуры чипа КНИ тензопреобразователя давления с максимумами напряжений на боковых гранях {111} рамки вблизи границы их пересечения с плоскостью (100), а также определены величины и знак напряжений – напряжения сжатия.

Установлено примерное совпадение интервалов изменения величин предельных напряжений и зна-

ка напряжений с известными кремниевыми микро-механическими структурами - аналогами.

Список литературы

1. Л.В. Соколов. Исследование упругих напряжений на границах раздела в КНИ гетероструктуре чипа микроэлектромеханического преобразователя с изолированной 3D тензорамкой. Сб. научных трудов научно-технической конференции «Системы управления, стабилизации, навигации, ориентации и их базовые элементы», 23 - 25 апреля 2019, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, с.59–60.
2. Артамонов А.С. и др. Экспериментальное исследование радиационного поведения SMART-CUT КНИ-структур // ВАИТ. Научно-технический сборник. Радиационная стойкость электронных систем («Стойкость - 2001»). 2001, вып.4, с.37-38
3. Работнов Ю.Н.. Механика деформируемого твёрдого тела. М.: Наука, 1988. 712с.
4. Ваганов В.И. Интегральные тензопреобразователи. М.: Энергоатомиздат, 1983, 175с.
5. Соколов Л.В. Основы проектирования кремниевых микроэлектромеханических интегральных тензопреобразователей давления и микросистем с профилированной трёхмерной мембранной структурой. Жуковский. Издательство Петит, 2009, 367с.
6. Соколов Л.В., Школьников В.М. Интегральный мультисенсор давления-температуры с оптимизированной трёхмерной микромеханической структурой и топологией на базе созданных матричных

кристаллов // Микросистемная техника, № 3, 2003, с.3-7.

7. Соколов Л.В. Введение в технологию проектирования и производства микроэлектромеханических тензопреобразователей с гетероструктурой «кремний на изоляторе» для авиационной и ракетно-космической техники. Учеб. пособие. Москва. Издательство МАИ. 2015. 84с.
8. Leonid V. Sokolov. Conceptual basis for creating new-generation high-stable high-temperature microelectromechanical sensors based on a silicon-on-insulator heterostructure with a monolithic integral tensostructure for intelligent transducers // Proc. 9th Int. Symp. Measurement Technology and Intelligent Instruments ISMTII-2009. S-Petersburg, 2009.V. 3. P. 248-251
9. Соколов Л.В. Высокостабильные высокотемпературные микроэлектромеханические преобразователи нового поколения на основе гетероструктуры кремний-на-изоляторе // Измерительная техника №9, 2009, с. 18-20.
10. Sokolov L.V. , Agafonova N.A. Computer modeling of elastic tension fields of MEMS tensoconverters with micro-perforated membrane structure // Proc. Int. Conf. Micro- and Nanoelectronics. Moscow, 2016. P.160.
11. Woo Sik Yoo at al. Multiwavelength Raman characterization of silicon stress near through- silicon vias // J.Micro/Nanolith. MEMS MOEMS. 2014. 13(1). 011205. 23pp.

ЧТО ТАКОЕ SimInTech. РАЗВИТИЕ И ПЛАНЫ.

What is SimInTech. Development and plans.

И.П. Колотыркин

И.П. Колотыркин – заместитель генерального директора ООО «ЗВ Сервис» (LLC «ЗВ Services»), г. Москва. i.kolotyркин@zv-services.com

В докладе представлены: история разработки и планы развития программного обеспечения SimInTech, которое является конкурентом такого программного обеспечения, как Matlab SimuLink (MathWorks), Dymola (Dassault), AMESim (Siemens), SCADE (ANSYS), LabVIEW (National Instruments) и других.

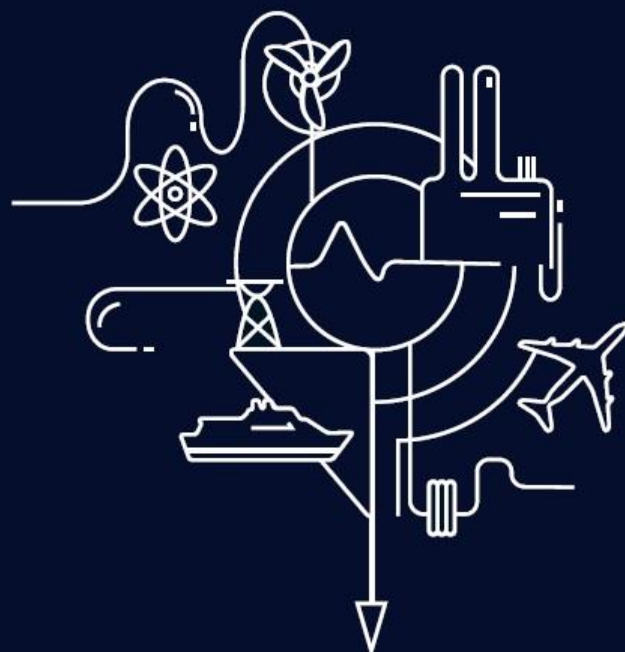
SimInTech – система разработки логико-динамических систем, описываемых во входо-выходных отношениях, в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений и/или дифференциально-алгебраических уравнений. Функциональные возможности SimInTech позволяют разрабатывать сложные гетерогенные комплексно-иерархичные модели, ориентированные на полный цикл разработки систем автоматического управления.

SimInTech содержит широкий набор готовых библиотек для решения множества технических задач, тем самым ускоряя разработку сложных комплексных моделей. Реализована возможность подключения сторонних программных модулей, разработанных на различных языках программирования. Функционал позволяет генерировать встраиваемый исполняемый код для аппаратуры управления с использованием операционных систем реального времени (ОСРВ) и в микроконтроллеры без ОСРВ. Поддерживаются как российские производители: АО «ПКК Миландр», АО «НИИЭТ», так и зарубежные: STM32, Texas Instruments и т.д.

Изначально SimInTech широко использовался при разработке атомных объектов. В период 00-х годов к компании обратились ряд предприятий таких как ПАО «Компания «Сухой», ООО «Московский завод «Физприбор», АО «МВЗ имени М. Л. Миля», АО «СПМБМ «Малахит», АО «Концерн «НПО «Аврора», ФГУП «Крыловский государственный научный центр», GRS (Германия) которые поставили ряд новых задач, что способствовало развитию SimInTech.

С 2016 года было разработано большое количество новых библиотек и появились новые предприятия, такие как ПАО ПКО «Теплообменник», ФГУП «ГосНИИАС», АО «НПП «Радар ммс», ФГУП «НПЦ АП», ОАО «ВПК «НПО машиностроения», ПАО «ЛНППК», NMRI (Япония) которые успешно внедрили у себя SimInTech для решения сложных технических задач.

В части разработки библиотек ООО «ЗВ Сервис» активно сотрудничает с ФГБОУ ВО «МАИ (НИУ)», ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», ФГБОУ ВО «МГТУ им Н.Э. Баумана (НИУ)», ФГБОУ ВО «МИРЭА - РТУ» ФГБОУ ВО «ТУСУР», ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», КБ «Арматура» - филиалом ФГУП «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева», Набережночелнинским филиалом института ФГАОУ ВО «КФУ».



Математическое моделирование и разработка
систем управления сложных технических
объектов

www.simintech.ru

Секция 1. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ НА МНОЖЕСТВЕ СОСТОЯНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Expert system of energy saving control for technological objects on the set operation states

Д.Ю. Муромцев, А.Н. Грибков, В.Н. Шамкин

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Рассмотрены особенности разработки мультиалгоритмических систем энергосберегающего управления сложными технологическими объектами на множестве состояний функционирования. Для принятия решений, связанных с выбором оптимального алгоритма синтеза управляющих воздействий в зависимости от текущего состояния функционирования объекта управления, используются функции экспертной системы с продукционной базой знаний.

Задачи проектирования систем энергосберегающего управления (СЭУ) сложными технологическими объектами являются весьма актуальными, поскольку такие системы находят широкое применение во многих отраслях современной промышленности. Предметная область данных задач включает сложный и обширный математический аппарат, связанный с теорией оптимального управления, методами математического моделирования, методикой планирования эксперимента, методами искусственного интеллекта и т.д. В связи с этим, существенные трудности возникают на этапе проектирования алгоритмического обеспечения СЭУ, включающего разработку моделей, методов и алгоритмов, обеспечивающих решение задач анализа и синтеза оптимального энергосберегающего управления на множестве состояний функционирования. Во многих случаях, разработка алгоритмического обеспечения СЭУ является весьма трудоемким и наукоемким процессом, для выполнения которого придется привлечь специалистов высокого класса в рассматриваемой предметной области.

Вместе с тем, возможно достичь существенного снижения трудоемкости и сокращения затрат времени на проектирование СЭУ за счет применения современных экспертных систем. Поскольку основным назначением экспертных систем является решение неформализованных или слабоформализованных задач, то такая система способна моделировать механизм мышления человека, являющегося экспертом в определенной предметной области.

При проектировании СЭУ сложным технологическим объектом, необходимо учитывать, что в процессе реальной эксплуатации могут происходить смены состояния функционирования объекта управления, вызванные изменениями параметров технологического процесса, окружающей среды, интенсивности возмущающих воздействий и т.д.

Эти изменения могут существенно снизить вероятность достижения цели управления, поэтому их необходимо учитывать уже на этапе разработки алгоритмического обеспечения системы.

В большинстве случаев, при разработке СЭУ сложными технологическими объектами на множестве состояний функционирования, создается алгоритмическое обеспечение, в состав которого включаются алгоритмы синтеза управляющих воздействий для наиболее вероятных состояний функционирования, а также возможные действия для критических состояний, в которых происходят отказы технических средств. Таким образом, СЭУ представляет собой мультиалгоритмическую систему [1], которая также выполняет функции экспертной системы, поскольку она осуществляет принятие решения о реализации наиболее оптимального алгоритма синтеза управляющих воздействий в зависимости от текущего состояния функционирования объекта управления.

Выбор алгоритма синтеза оптимальных управляющих воздействий возможно реализовать с использованием системы продукционных правил, включаемых в базу знаний экспертной системы. Продукционные правила составляются по методике [2], основанной на совместном применении методов имитационного моделирования и теории планирования эксперимента.

Материал подготовлен при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований, проект №17-08-00457-а.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственное задание. Проект «Интеллектуальная информационно-измерительная и управляющая система оперативного контроля теплофизических характеристик теплоизоляционных материалов, применяемых в условиях Арктики. Разработка теоретических основ, методологии построения интеллектуальных информационно-измерительных и управляющих систем»).

Список литературы

Грибков, А.Н. Об одном подходе к синтезу управляющих воздействий в мультиалгоритмических системах энергосберегающего управления / А.Н. Грибков, Д.Ю. Муромцев, А.О. Гаврилов, А.Ю. Ко-

ток // *Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сб. тр. XXVI Междунар. науч.-техн. конф., Алушта, Крым: ИД «Медпрактика-М», 2017. – С. 23-24.*

Грибков, А.Н. *Методика выбора алгоритма синтеза управляющих воздействий многомерным техно-*

логическим объектом на множестве состояний функционирования / А.Н. Грибков, Д.Ю. Муромцев, В.Н. Шамкин // Информатика и системы управления. – 2017. – №3(53). – С. 109-118.

ЭМПИРИЧЕСКАЯ ВАЛИДАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВИРТУАЛЬНЫХ АКТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОМИОГРАММЫ

Empirical validation of virtual actors mathematical models with electromyogram

Д.В. Тихомирова, А.В. Самсонович

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ

В работе проводится серия экспериментов на основе видеогры «Телепорт», в ходе которых исследуется метод электромиограммы для эмпирической валидации математических моделей виртуальных акторов, обладающих элементами социально-эмоционального интеллекта. Временная диаграмма активности мышц лица отражает моменты проявления эмоций у участников экспериментов, их интенсивность и характер. Электромиография оказалась более чувствительным методом, чем визуальные программные средства для автоматического анализа выражений лица, такие как FaceReader.

Разработка средств искусственного интеллекта следующих поколений подразумевает обеспечение естественного взаимодействия человека с интеллектуальными агентами на социальном уровне, включающем эмоциональный контакт. Для того, чтобы виртуальный актер мог быть психологически правдоподобным, социально приемлемым и эффективным в сотрудничестве с пользователем, он должен адекватно реагировать на эмоционально значимые действия других агентов. В работе использовалась созданная ранее платформа – игра «Телепорт» [1], допускающая анонимное социальное взаимодействие акторов различной природы – как людей, так и автоматов – при их неразличимости, благодаря чему испытуемый ведет себя естественно. Парадигма данной игры требует коллаборативного взаимодействия между актерами-участниками, которыми в данном случае являлись человек и два автомата. Данные о динамике аффективных состояний участников эксперимента в выбранной парадигме позволяют измерить семантические корреляты аффектов и подтвердить либо уточнить модель, сформулированную ранее на основе когнитивной архитектуры eVICA [2].

Знак и интенсивность эмоционального переживания участника эксперимента можно установить на основе анализа активности двух мышц: большой скуловой (M. Zygomaticus Major) и мышцы, сморщивающей бровь (M. Corrugator Supercilii). Активность первой мышцы положительно коррелирует с интенсивностью переживания радости и сигнализирует положительную валентность, а второй – с

гневом и сигнализирует отрицательную валентность. Для регистрации активности данных мышц и, следовательно, эмоционального переживания использовался метод электромиограммы. Запись ЭМГ производилась с помощью компьютерного электроэнцефалографа «Нейро-КМ» и программы «Brainsys». Электроды располагались по схеме (Fridlund, Cacioppo, 1986) [3]. Видеозапись лица участников эксперимента с целью обнаружения эмоций обрабатывалась с помощью программы «FaceReader». В эксперименте принимали участие 29 добровольцев – студенты магистратуры НИЯУ МИФИ в возрасте от 22 до 24 лет.

Эксперимент по записи ЭМГ проводился по следующей парадигме: вначале во время игры «Телепорт», затем во время просмотра серии клипов видеозаписи игры. По окончании записи проводился опрос участников с целью получения обратной связи. С помощью ЭМГ были зарегистрированы характеристики эмоционального отклика участников эксперимента в процессе игры. Наибольшей информативностью обладал сигнал в полосе частот 7-80 Гц. На записях миограмм можно было уверенно различить момент проявления эмоции, а также оценить интенсивность переживания эмоции и ее характер, что подтверждалось сравнением с результатами опроса участника и анализом видеозаписи лица. Так, миограмма позволяла отличить широкую продолжительную улыбку от быстрой, открытую улыбку от едва заметной. При обработке данных проводилась очистка полученных в ходе экспериментов данных от артефактов, таких как моргание. Все события в виртуальном окружении игры логировались и впоследствии обрабатывались с целью поиска семантических коррелятов миограмм.

Производилось сравнение по мощности отрезков сигнала в 4 секунды на временной диаграмме активности мышцы M. Zygomaticus Major – до начала регистрации сигнала улыбки (сигнал покоя) с помощью миографа и FaceReader и после завершения регистрации сигнала улыбки с помощью FaceReader. Выявлено значимое увеличение интенсивности сигнала ($p < 0.0022$). Сигнал в 4 секунды после завершения регистрации сигнала улыбки с

помощью FaceReader является значимым и отличным от сигнала покоя. Для сигнала от мышцы M. Corrugator Supercilii этих же двух временных интервалов различия незначимы ($p < 0.51$). Таким образом, миограф оказался чувствительнее визуальных программных средств для автоматического анализа выражений лица, таких как FaceReader, и регистрировал сигнал затухающей улыбки более, чем на 4 секунды дольше, чем FaceReader, прежде, чем уровень сигнала возвращался на прежний уровень сигнала покоя. Данная работа финансировалась грантом РФФ № 18-11-00336.

Список литературы

- Azarnov D.A., Chubarov A.A., Samsonovich A.V. *Virtual actor with social-emotional intelligence*. // *Proceedia Computer Science*, 2018. Vol. 123, pp. 76-85. DOI: 10.1016/j.procs.2018.01.013
- Samsonovich A.V. *Schema formalism for the common model of cognition* // *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2018*, Vol. 26, pp. 1-19. DOI: 10.1016/j.bica.2018.10.008
- Fridlund A.J., Cacioppo J.T. *Guidelines for human electromyographic research*. // *Psychophysiology*. 1986. Vol. 23. No. 5. P. 567-589.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА АКСЕЛЕРОМЕТРА НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО

Development of a motion processing algorithm of a sensitive element of an accelerometer based on a Fabry-Perot interferometer

Л.А. Шлеенкин, Р.П. Булычев, В.А. Дубицкий

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Булычев Р.П. – аспирант кафедры 301 «Системы автоматического и интеллектуального управления», Дубицкий В.А. – магистрант кафедры 301 «Системы автоматического и интеллектуального управления», научный руководитель д.т.н., профессор Бусурин В.И.

Разработан алгоритм, позволяющий определить направление перемещения чувствительного элемента компенсационного акселерометра. Исследована зависимость мощности оптического излучения, прошедшего через интерферометр Фабри-Перо, от величины базы интерферометра при разных величинах отражательной способности зеркал. Представлены результаты моделирования алгоритма по определению направления движения чувствительного элемента.

Актуальность исследования заключается в необходимости применения новых методов по расширению диапазона измерений линейных преобразователей ускорения. Применение новых методов по определению направления движения чувствительного элемента для увеличения динамического диапазона измерений позволит наиболее эффективно использовать преобразователи ускорения в системах навигации и управления летательными аппаратами. Новизна исследовательской работы заключается в применении подхода, который позволяет определять направление перемещения чувствительного элемента акселерометра без использования оптического анализатора спектра.

Первостепенной задачей в разработке компенсационного акселерометра балочного типа является создание схемы регистрации перемещений чувствительного элемента, например, в виде пластины из кварца. Детектирование перемещения пластины

происходит с помощью интерферометра Фабри-Перо, подвижное зеркало которого закреплено на чувствительном элементе. Решение поставленной задачи включало в себя несколько этапов.

Было исследовано изменение интенсивности оптического излучения, прошедшего через интерферометр Фабри-Перо, в зависимости от базы интерферометра [1]. Для дальнейшей обработки оптического сигнала необходимо, чтобы сигнал плавно изменялся при изменениях базы интерферометра, например, по зависимости, близкой к синусоидальной, и обеспечивал уверенное определение величины базы хотя бы на половине периода. Этому условию соответствует зависимость изменения интенсивности оптического излучения при коэффициентах отражения зеркал R_{omp} в диапазоне $0,1 \dots 0,4$. В результате преобразования мощности оптических сигналов в электрические токи с помощью фотодиодов и преобразователей «ток-напряжение» с помощью аналоговых компараторов сформированы двоичные сигналы по двум каналам.

С целью обеспечения одинаковой ширины выходных импульсов, выбирается соответствующее значение опорного напряжения компаратора U_{on} . Результирующий сигнал о перемещении пластины формируется реверсивным счётчиком. При прогибе пластины в одну сторону сигнал второго канала измерения отстаёт от первого на четверть периода,

что обеспечивает суммирование входных импульсов, а при прогибе в другую сторону сигнал второго канала измерения опережает первый, и активируется режим вычитания. Произведено моделирование работы блока обработки оптической информации.

Разработанный алгоритм регистрации микроперемещений чувствительного элемента компенсационного акселерометра и выбор параметров интерферометров Фабри-Перо обеспечивает возможность цифрового считывания информации с уменьшенным шагом.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №19-08-00108).

Список литературы

Kazem Zandi, Joseph André Bélanger, and Yves-Alain Peter, Senior Member, IEEE «Design and Demonstration of an In-Plane Silicon-on-Insulator Optical MEMS Fabry-Pérot-Based Accelerometer Integrated With Channel Waveguides» // JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, VOL.21, NO. 6, DECEMBER 2012. – pp.1464-1468.

МИКРООПТОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ УСКОРЕНИЯ НА ОСНОВЕ «ГРУБО-ТОЧНОГО» МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

Microoptoelectromechanical acceleration transducer based on “rough-to-precise” measurement method

В.И. Бусурин, К.А. Коробков, Н.А. Кошеварова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»

К.А. Коробков – аспирант кафедры 301 «Системы автоматического и интеллектуального управления», Кошеварова Н.А. – студент кафедры 301 «Системы автоматического и интеллектуального управления», научный руководитель д.т.н., профессор В.И. Бусурин

В работе рассмотрен микромеханический преобразователь ускорения с оптическим считыванием на основе «грубо-точного» измерения. Исследовано влияние параметров балочного чувствительного элемента при действии на него различных ускорений от отклонения балки. Разработан алгоритм обработки оптических сигналов, формирующих выходной сигнал по данным каналов грубого и точного отсчетов.

В настоящее время распространены датчики, основанные на микроэлектромеханических системах (МЭМС). Популярность таких устройств обусловлена простотой их использования, относительно низкой ценой и малыми габаритами. В работе проводятся исследования прецизионного микромеханического преобразователя ускорения с оптическим считыванием и формированием выходного сигнала по данным каналов грубого и точного отсчетов [1,2].

Оптический узел считывания информации выполнен на основе интерферометра Фабри-Перо. Для определения зависимости пропускания интерферометра от фазового набега использована формула Эйри. Для обеспечения возможности считывания аналоговой информации о неполных шагах перемещений между пиками предложено использовать малые значения коэффициента отражения.

При исследовании функции пропускания интерферометра определены зоны с высокой чувствительностью, в которых можно формировать точную добавку к грубому отсчету.

Структура блока обработки информации включает в себя два оптических канала, каждый из которых содержит фотоприемник, преобразователь и усилитель на операционных усилителях, компараторы, аналого-цифровой преобразователь, ПЗУ, и блок мультиплексоров и счетчиков.

Промежуточные сигналы компараторов формируют грубое двоичное N-разрядное значение выходного сигнала. Сигнал фотоприемника после преобразований формирует двоичный код, который является адресом ячейки памяти, в которой хранятся добавочные к грубым отсчетам данные. С выходов ПЗУ данные в виде двоичного кода подаются на блок мультиплексоров. И в зависимости от участка работы на выходе из мультиплексоров формируется правильная добавка в виде M-разрядов двоичного кода.

В результате формируется (N+M)-разрядный код, что обеспечивает малую погрешность измерения порядка единиц-десятков нанометров, которая зависит от погрешностей аналоговых сигналов.

При формировании шестиразрядного двоичного кода грубого канала величина одного отсчета составляет около 79 нм. Используя также 6 разрядов для формирования добавки, в полном диапазоне одного грубого отсчета можно выделить 64 уровня, что соответствует итоговой погрешности измерения около 1,2 нм.

Предложенный алгоритм обработки информации о перемещениях позволяет уменьшить погрешность

измерения за счет формирования точной добавки к грубому измерению. Моделирование работы устройства обработки информации о перемещении в Matlab/Simulink показало линейную зависимость выходного двоичного сигнала от ускорения. Благодаря использованию «грубо-точного» метода формирования выходного сигнала прецизионный преобразователь ускорения с интерферометрическим считыванием может быть эффективно использован в системах управления и навигации летательных аппаратов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №19-08-00108).

Список литературы

- Бусурин В.И., Коробков В.В., Горшков Б.Г., Дьячков В.В., ТВМ-преобразователь угловой скорости с интерферометрическим считыванием информации // Датчики и системы, 2017, №5, с. 37-43.
- Бусурин В.И., Коробков В.В., Нгуен Тхань Зьонг, Данг Ван Хуен, Волновой микроопто-электрохимический преобразователь угловой скорости с интерферометром Фабри-Перо // Датчики и системы, 2019г., №3, с. 27-33.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НАНЕСЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ С ФИГУРНЫМ АНОДОМ

Intellectual control system the process of depositions of electroplating coating with shaped anode

Ю.В. Литовка, А.А. Ефимов

Тамбовский государственный технический университет

Рассмотрена интеллектуальная система оптимального управления процессом нанесения гальванического покрытия с фигурным анодом. Система управления решает задачу поиска формы фигурного анода, которая задаётся координатами узлов каркасной модели, для получения покрытий с минимальной неравномерностью. Интеллектуальная система решает задачу построения каркаса, обеспечивающего минимальное количество узлов, при заданной точности вычисления критерия оптимальности R.

В машиностроительной промышленности большую роль играют гальванические покрытия. Они применяются для придания покрываемой поверхности деталей специальных свойств. Важнейшим показателем качества покрытия является равномерность распределения толщины наносимого металла по поверхности детали. Одним из методов повышения равномерности покрытия является использование фигурных анодов. Сложная конфигурация электрического поля в гальванической ванне приводит к тому, что фигурный анод, обеспечивающий минимальную неравномерность покрытия, не повторяет форму покрываемой детали – катода.

Цель работы: получить наиболее равномерное гальваническое покрытие.

Задача получения покрытий с минимальной неравномерностью заключается в поиске формы фигурного анода, которая задаётся координатами узлов каркасной модели.

Для решения поставленной задачи используется математическая модель, включающая следующие уравнения:

- расчёт критерия оптимальности:

$$R = \int_{S_k} \frac{\delta(x, y, z) - \delta^{\min}}{\delta^{\min}} dS_k ;$$

- закон Фарадея:

$$\delta(x, y, z) = \frac{\mathcal{E}}{\rho_0} \int_0^T \eta(x, y, z, \tau) i_k(x, y, z, \tau) d\tau ;$$

- закон Ома в дифференциальной форме:

$$i_k(x, y, z) = -\chi \cdot \text{grad } \varphi(x, y, z) | S_k ;$$

- уравнение Лапласа:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 ;$$

- краевые условия для уравнения Лапласа:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n}$$

$$| S_n = 0 ;$$

$$\varphi + F_1(i_a) | S_a = U ;$$

$$\varphi - F_2(i_k) | S_k = 0 ,$$

где R - критерий неравномерности; S_k – площадь поверхности катода; δ(x,y,z) – толщина покрытия в точке катода с координатами (x,y,z); δ^{min} – минимальная толщина покрытия; Э – электрохимический эквивалент металла покрытия; ρ – плотность металла покрытия; T – время нанесения покрытия; η(x,y,z,τ) – катодный выход по току; τ - текущее время; i_k, i_a – соответственно, катодная и анодная плотности тока; χ - электропроводность электролита; φ(x,y,z) – потенциал электрического поля; S_n - площадь поверхности изолятора; n - нормаль к поверхности изолятора; U - напряжение в ванне; S_a – площадь поверхности анода (задаётся координатами узлов каркасной модели); F₁(i_a) – функция анодной плотности тока, учитывающая поляризацию на аноде; F₂(i_k) – функция катодной плотности тока, учитывающая поляризацию на катоде.

Наиболее сложным в полученной математической модели является уравнение Лапласа с нелинейными краевыми условиями третьего рода.

Для его решения используется метод релаксации с прогонкой по строке.

Сложность задачи оптимизации определяется большой её размерностью, поскольку чем большее количество узлов каркасной математической модели будет задано, тем точнее будет получено реше-

ние задачи оптимизации. Интеллектуальная система решает подзадачу построения каркаса, обеспечивающего минимальное количество узлов, при заданной точности вычисления критерия оптимальности R .

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ «УМНОГО ДОМА»

Intelligent Decision Making System for Smart Home

О.Ю. Марьясин

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет»

Рассмотрена интеллектуальная система принятия решений для «Умного дома», построенная с использованием технологий искусственного интеллекта с возможностью адаптации базы правил на основе анализа предпочтений и шаблонов поведения человека.

Для того чтобы система «Умный дом» была действительно умной, она должна правильно оценивать текущую ситуацию и принимать адекватные решения. Повышение интеллектуальности систем «Умный дом» возможно за счет применения для их реализации технологий искусственного интеллекта. В частности, таким шагом является использование экспертных систем.

В работе представлена интеллектуальная система принятия решений (ИСПР) для системы «Умный дом», построенная на базе технологий семантической паутины и экспертной системы продукционного типа. Базовую роль в стеке технологий семантической паутины играют онтологии. Авторы, на основе анализа существующих онтологий, разработали свою онтологию системы «Умный дом». Данная онтология позволяет определить основные классы и отношения, создать объекты и их характеристики, связанные с рассматриваемой предметной областью. Для разработки онтологий использовался популярный редактор онтологий Protégé. Особенностью разработанной онтологии по сравнению с подобными онтологиями, является ее высокая модульность. Практически при разработке данной онтологии был создан целый набор независимых онтологий, пригодных для повторного использования.

На основе онтологии, типовых сценариев и сценариев, связанных с выполнением различных задач по управлению «Умным домом», построена база знаний экспертной системы. Множество фактов и часть правил экспертной системы получена из онтологии. Для реализации экспертной системы использовалась популярная свободно-доступная оболочка CLIPS. Данные от датчиков поступают в подсистему ввода и обработки информации ИСПР, из которой они передаются в базу данных (БД) системы. Информация из БД используется для определе-

ния значений фактов базы знаний CLIPS. Сработавшие правила добавляют или изменяют факты в рабочей памяти или приводят к выполнению функций управления. Реализация функций управления производится в соответствующей подсистеме ИСПР, из которой сигналы управления передаются на исполнительные устройства системы «Умный дом». Для достижения максимальной гибкости при работе с базой знаний список правил формируется динамически. Для этого каждое правило хранится в отдельной записи БД, а перед загрузкой в экспертную систему все правила извлекаются из БД в общий файл. Такая организация позволяет легко изменять базу правил, например, добавлять в нее новые правила.

Подход к управлению на основе правил позволяет легко интегрировать в единую систему и традиционное инженерное оборудование, управляемое на основе сценариев или простейших систем регулирования и новейшие системы оптимального прогнозирующего управления. При этом правила не должны подменять собой алгоритмы и программы автоматического управления. Используя правила интеллектуальный уровень системы управления должен отвечать за ситуационное управление, управление в условиях изменения режимов работы, переключений, изменения характеристик оборудования, параметров внешней и внутренней среды и других ситуаций.

Авторами предложен подход к адаптации базы правил экспертной системы ИСПР путем генерации новых правил на основе анализа предпочтений и шаблонов поведения человека. Выявление предпочтений и привычек требует длительного наблюдения за поведением человека. В системах «Умный дом» сбор информации о действиях человека можно легко организовать путем анализа текущих данных поступающих от датчиков и передаваемых устройствам управления. Набор действий, которые может производить пользователь, определяется заранее, на этапе создания онтологии. После того как определены действия, выполняемые пользователем, по этим данным, для каждой ситуации возникающей в доме, начиная с некоторого момента

времени, может быть построен взвешенный ориентированный граф. Дуги данного графа представляют собой действия пользователя. С каждой дугой связано число, показывающее частоту выполнения данного действия в определенной ситуации. На графе, дуги, соответствующие наиболее часто совершаемым действиям будут иметь наибольший вес. Следовательно, выбирая дуги с наибольшими весами можно определить наиболее часто совершаемую последовательность действий. Поиск пути на графе с наибольшими весами может быть выполнен путем решения задачи определения максимального

пути на графе. Определив наиболее часто совершаемую последовательность действий, можно создать правила, реализующие действия этой последовательности и добавить их в базу правил экспертной системы ИСПР.

Таким образом, в работе предложена реализация ИСПР на базе технологий семантической паутины и экспертной системы в среде CLIPS. Использование экспертной системы повышает интеллект системы «Умный дом», обеспечивая комфорт и безопасность проживающих в нем жильцов.

АВТОКОЛЕБАНИЯ В ОДНОГО КЛАССА МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ СИСТЕМАХ

Self-oscillations in one class of multiplicative systems

О.М. Державин, Д.А. Легошин, Е.Ю. Сидорова

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

*Д.А. Легошин.. – аспирант каф. управления и информатики,
научный руководитель профессор О.М. Державин*

Описываются условия возникновения автоколебаний в мультипликативных системах произвольного порядка с интегрирующим звеном в одной из цепей обратной связи.

Математические модели мультипликативного типа получили широкое распространение при описании динамических систем различной природы: в технике, экологии, медицине, химии и других областях (например, [1], [2], [3]). Несмотря на это, данный класс остается мало исследованным с точки зрения обобщения характерных свойств его динамики. Сюда относится, в том числе, существенный вопрос устойчивости мультипликативных систем – вопрос возникновения в них автоколебательных режимов. Обобщенная модель динамической системы с одним мультипликативным элементом, может быть представлена структурной схемой, содержащей нелинейный безынерционный элемент множительного типа и два динамических четырехполюсника, определяющих две цепи обратной связи выхода нелинейного элемента с его входами. В [4, 5] методом гармонического баланса были получены условия возникновения автоколебаний, когда в обеих цепях модели отсутствуют интегрирующие звенья. В [6] рассматривалась модель с цепями обратной связи первого порядка, состоящими из инерционных и интегрирующих звеньев. Было показано, что при наличии интегрирующего звена в цепях обратной связи (в одной или обеих) периодические процессы отсутствуют. В настоящей работе рассматривается класс мультипликативных систем произвольного порядка, содержащих в одной из цепей интегрирующее звено. Их модель в общем случае

может быть представлена передаточными функциями звеньев цепей обратной связи следующего вида:

$$W_1(p) = \frac{DB_1(p)}{pA_1(p)}, \quad W_2(p) = \frac{KB_2(p)}{A_2(p)},$$

Математические модели мультипликативного типа получили широкое распространение при описании динамических систем различной природы: в технике, экологии, медицине, химии и других областях (например, [1], [2], [3]). Несмотря на это, данный класс остается мало исследованным с точки зрения обобщения характерных свойств его динамики. Сюда относится, в том числе, существенный вопрос устойчивости мультипликативных систем – вопрос возникновения в них автоколебательных режимов. Обобщенная модель динамической системы с одним мультипликативным элементом, может быть представлена структурной схемой, содержащей нелинейный безынерционный элемент множительного типа и два динамических четырехполюсника, определяющих две цепи обратной связи выхода нелинейного элемента с его входами. В [4, 5] методом гармонического баланса были получены условия возникновения автоколебаний, когда в обеих цепях модели отсутствуют интегрирующие звенья. В [6] рассматривалась модель с цепями обратной связи первого порядка, состоящими из инерционных и интегрирующих звеньев. Было показано, что при наличии интегрирующего звена в цепях обратной связи (в одной или обеих) периодические процессы отсутствуют. В настоящей работе рассматривается класс мультипликативных систем произ-

вольного порядка, содержащих в одной из цепей интегрирующее звено. Их модель в общем случае может быть представлена передаточными функциями звеньев цепей обратной связи следующего вида:

где B_1, A_1, B_2, A_2 – полиномы от p , D, K – const, все полюса передаточных функций левые, за исключением одного нулевого в $W_1(p)$.

В работе методом гармонического баланса получены условия возникновения периодических процессов в системе. Описательно они определяют требование совпадения частот, на которых амплитудно-фазовая характеристика $W_1(j\omega)$ пересекает мнимую ось, а характеристика $W_2(j\omega)$ – вещественную ось. Значение данной частоты соответствует частоте периодического процесса. При этом на нее не влияют значения коэффициентов усиления D и K . Последние влияют на величину постоянной составляющей выходного сигнала цепи с $W_1(p)$. Существенным является, что в условиях возникновения периодического процесса отсутствует значение его амплитуды. То есть они определяют динамику системы типа периодического режима.

Список литературы

Рикитаки Т. Электромагнетизм и внутреннее строение Земли. – Л.: Недра, 1968. 332 с.

Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. Пер. с франц. Бондаренко О.Н. Под ред. и с послесл. Свирежсва Ю.М. – М.: Наука, 1976. 287 с.

Tiing F.C.S., Labadin G. A simple deterministic model for the spread of hand, foot and mouth disease (HFMD) in Sarawak //2008 Second Asia International Conference on Modelling & Simulation, 2008, pp. 947-952.

Державин О.М., Тушин А.С. Об исследовании устойчивости нелинейных систем мультипликативного типа // Вестник МЭИ, №6, 2012, с. 198-203.

Державин О.М., Тушин А.С. О динамике нелинейной системы с мультипликативными связями переменных // Труды XVIII Международной научно-технической конференции «Информационные средства и технологии». В 3 т. Т.3. – М.: Изд-во МЭИ, 2010, с. 280-289.

Державин О.М., Ковалева Т.Ю., Легошин Д.А. Условия возникновения автоколебаний в мультипликативных системах второго порядка // Современные технологии в задачах управления, автоматике и обработки информации: сб. тр. XXVII Междунар. науч.-техн. конф., 14-20 сентября 2018 г., Алушта. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018, с. 83-84.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЕ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ ОПЕРАТОРА БПЛА

Use of artificial intelligence technologies in information management systems to support drone operator's decisions

Э.С. Аревшатян

Научный руководитель д.т.н., профессор **Н.В. Павлова**

ФГБОУ ВО Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет), Москва

Доклад посвящен анализу использования технологий искусственного интеллекта, позволяющих поддержать решения оператора БПЛА разной квалификации. Общая структура системы соответствует экспертным системам поддержки решения, а для формирования базы знаний использована технология нейронных сетей.

Для управления БПЛА, которые сегодня применяются для решения самых разных задач, требуется эффективное взаимодействие ЛА с операторами разной квалификации, которые ими управляют. Встает задача поддержки решения этих операторов и обеспечения повышения их квалификации по мере решения все более сложных задач.

Разработана структура информационно-управляющей системы, которая включает ядро экспертных систем, состоящая из базы знаний и механизма логического вывода и модули объяснения принятых решений и накопления знаний с использованием нейронной сети. Последняя генерирует в процессе обучения правила для базы знаний.

Экспертная система в программно-алгоритмическом комплексе взаимодействует с независимыми модулями, которые описывают содержательный компонент (обработку бортовой информации и управление БПЛА), компонентом сбора и анализа данных по полученным решениям и компонентом контроля эффективности принятых решений. По-

следние два взаимодействуют между собой, обеспечивая контроль процесса обучения принятием решений.

Самым трудоемким процессом создания экспертных систем является качественное заполнение базы знаний. Для повышения эффективности этого процесса разработана специальная нейронная сеть, которая на базе небольшого числа исходных правил, введенных квалифицированным экспертом, генерирует другие правила базы знаний.

Такая система, взаимодействуя с первым ступенью автоматизированной обучающей системой [2, 4], позволяет на более высоком уровне организовать процесс обучения операторов БПЛА при решении полетных задач различной сложности.

Первичное тестирование проведено на группе неопытных операторов при решении простейших полетных задач.

Список литературы

1. Павлова Н. В. Методы искусственного интеллекта и новые информационные технологии в проектировании приборных комплексов. Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2000. – 104 с.: ил.

2. Аревшатян Э. С. Оценка знаний студентов с использованием системы управления многоуровневого подхода. XXVII Международная научно-техническая конференция «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации». Алушта, 2018 г.

3. Люгер, Д.Ф. Искусственный интеллект. Artificial Intelligence: стратегии и методы решения сложных проблем / Д.Ф. Люгер. – 4-е издание. – Москва: Вильямс, 2005. – 864 с. ил. – ISBN 5-8459-0437-4.

4. Аревшатян Э. С., Павлова Н. В. Использование системы управления многоуровневого подхода для оценки знаний студентов. 17-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2018». Москва, 2018 г.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Intellectual information technology environment for energy-saving management of complex technological objects

Д.Ю. Муромцев, И.В. Тюрин, Р.А. Токарев

Тамбовский государственный технический университет

Р.А. Токарев – студент кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», научный руководитель доцент И.В. Тюрин

Рассматривается архитектура интеллектуальной информационно-технологической среды (ИИТС) для разработки и исследования микропроцессорных энергосберегающих управляющих систем для сложных технологических объектов. Основу ИИТС составляет экспертная система энергосберегающего управления, с которой пользователи и эксперты взаимодействуют через пользовательский интерфейс.

Интеллектуальная информационно-технологическая среда (ИИТС) с дистанционным доступом предназначена для проектирования автоматических микропроцессорных систем контроля, управления и электронных средств, выполнения научно-исследовательских работ по проблеме энергосбережения. ИИТС представляет собой комплекс программно-технических средств для многоаспектного исследования и сквозного проектирования сложных систем в виде партнер-эксперт с использованием интеллектуальных технологий и эффективной организацией знаний [1]. Программные средства имеют унифицированный интерфейс, обеспечивающий интерактивную работу пользователя с удаленным консультантом.

Основу интеллектуальной информационно-технологической среды проектирования ресурсосберегающих систем управления сложными технологическими объектами составляет экспертная си-

стема энергосберегающего управления (ЭСЭУ). В ЭСЭУ реализована методология построения гибридных экспертных систем, предназначенных для решения задач управления энергоемкими одно- и многомерными технологическими объектами – различными тепловыми установками, электроприводами, транспортными средствами и др. Ядром экспертной системы является база знаний (БЗ), которая содержит знания из области энергосберегающего управления (ЭУ). В БЗ содержатся как общие знания, так и информация о частных случаях. База знаний ЭСЭУ использует как теоретические методы оптимального ЭУ, так и знания экспертов. Пользователи и эксперты взаимодействуют с ЭСЭУ через пользовательский интерфейс. При этом предусматривается пополнение результатами реальной эксплуатации базы знаний системы [1 – 3]. В ЭСЭУ используется новый математический аппарат, позволяющий оперативно определять вид и параметры функции ЭУ, наглядно представлять результаты вычислений. ЭСЭУ позволяет:

- решать задачи анализа оптимального управления технологическими объектами, динамические режимы которых описываются дифференциальными уравнениями первого и второго порядков, при ми-

нимизируемых функционалах затрат энергии, расхода топлива, время управления и др.;

- определять вид и рассчитывать параметры управляющего воздействия, реализуемого программной или позиционной стратегией;

- решать задачи анализа и синтеза ЭУ на множестве состояний функционирования;

- применять концепцию дестабилизационного управления объектами, учитывающую изменение их возможной производительности;

- решать задачи аппроксимации, определять по экспериментальным характеристикам объектов вид и рассчитывать параметры дифференциальных уравнений;

- разрабатывать программное обеспечение для микропроцессорных управляющих устройств;

- решать прямые и обратные задачи проектирования систем ЭУ;

- использовать инфокоммуникационные средства при выполнении совместного проектирования разными разработчиками систем промышленной автоматизации в режиме удаленного доступа.

В ИИТС используются принципы CALS-технологий системного проектирования, единства исследования и проектирования, глобальности исследуемой проблемы (энергосбережение), свободы выбора проектных решений, приоритета индивидуального подхода к решаемой проблеме, саморазвития и эволюции [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственное задание. Проект «Интеллектуальная информационно-измерительная и управляющая система оперативного контроля теплофизических характеристик теплоизоляционных материалов, применяемых в условиях Арктики. Разработка теоретических основ, методологии построения интеллектуальных информационно-измерительных и управляющих систем»).

Список литературы

1. Муромцев, Д.Ю., Грибков, А.Н. Методологические аспекты построения программно-аналитического комплекса проектирования систем энергосберегающего управления // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015 – Т.21 №4. – С 542-547.

2. Баранова Ж.М., Захарова К.В., Грудинин И.В. Разработка экспертных систем автоматизированных систем специального назначения и оценка эффективности их функционирования // Научные технологии. 2017. Т. 18. № 6. С. 22-27.

3. Елтышев Д.К., Гнутова К.А. Обработка экспертных данных в интеллектуальных системах поддержки принятия решений при эксплуатации энергооборудования // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. 2018. Т.2. С. 53-56.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ ОТВЕРЖДЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Intelligent information and measuring system for studying of the polymer composites curing kinetics

О.С. Дмитриев, А.А. Барсуков

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Разработана интеллектуальная информационно-измерительная система для исследования кинетики процесса отверждения полимерных композитов. Обработка экспериментальных данных в ИИС осуществляется по алгоритмам с возможностью выбора адекватной модели с целью получения минимальных погрешностей искомым величин.

На сегодняшний день перспективными конструктивными материалами являются полимерные композиты (ПК). Качественные показатели изделий из полимерных композитов существенно зависят от оптимальности температурно-временных режимов отверждения. Проектированию оптимальных температурно-временных режимов предшествует построение математической модели отверждения, идентификация параметров этой модели и решение оптимизационной задачи.

Основными параметрами математической модели процесса отверждения полимерных композитов,

наряду с теплофизическими и реологическими, являются кинетические характеристики (КХ). Определение КХ предусматривает сбор и обработку большого объема экспериментальной информации [1], что требует разработки специализированной информационно-измерительной системы (ИИС) [2]. Кроме того, полученные КХ не всегда могут давать адекватное решение модели, вследствие погрешностей и неправильного её выбора. Поэтому необходимо произвести расчет КХ по различным моделям, сравнить результаты и выбрать одну из них. При таком подходе необходимо автоматизировать процесс принятия решения по выбору модели кинетики и алгоритм расчета КХ, который обеспечит минимальную погрешность искомым параметрам. Таким образом, разработанная система должна быть интеллектуальной ИИС.

Для определения кинетических характеристик в качестве исходных данных используются мощность тепловыделений, тепловой эффект, среднеинтегральная температура и универсальная газовая постоянная [1]. Мощность тепловыделений, используемая как входная величина, сама определена косвенно на основе экспериментально измеренных во времени температуры, толщины, теплового потока, теплоемкости, теплопроводности и производной температуры. Указанные величины также определяются на основе некоторых расчетных формул, градуировочных характеристик, уравнений и не являются результатом прямых измерений. Поэтому оценки погрешности кинетических характеристик и выбор соответствующей модели кинетики удобнее проводить на основе моделирования процесса принятия решений.

В основу моделирования процесса принятия решений положен модифицированный метод анализа иерархий, предназначенный для решения многокритериальных задач с конечным множеством возможных решений. Принципиальная сложность задач выбора при многих критериях заключается в невозможности априорного определения наилучшего решения. Для построения модели принятия решения по выбору модели кинетики и алгоритма расчета КХ представим её в виде иерархической структуры: на первом уровне размещается цель, на втором уровне – состав критериев, на третьем – множество альтернатив. Поэтому суть метода заключается в использовании матрицы парных сравнений, построенной на основе экспертных данных об относительной важности критериев и имитационного моделирования.

Имитационное моделирование проводится на основе последовательного перебора различных прогнозируемых ситуаций, возникающих при моделиро-

вании кинетики отверждения, путем изменения значений одного критерия при неизменных значениях других критериев и получения погрешностей расчета КХ для всех методов. На основании множества экспериментов по имитационному моделированию строятся матрицы оценок методов по критериям. Получив конкретные для эксперимента значения критериев из матриц, оценивается фактическая адекватность модели по каждому критерию. Для получения суммарной оценки альтернативы по всем критериям необходимо оценить критерии по степени важности. Для чего строится матрица парных сравнений.

Представленный алгоритм имитационного моделирования и планирования эксперимента входит в структуру интеллектуальной информационно-измерительной системы исследования теплофизических, кинетических и реологических характеристик полимерных композитов, обеспечивая минимальные погрешности их определения, необходимые для расчета оптимальных режимов отверждения композитов [2].

Список литературы

Дмитриев О.С., Барсуков А.А. Исследование кинетики отверждения полимерных композитов калориметрическим методом // В сборнике: Информационно-сенсорные системы в теплофизических исследованиях: XI международная теплофизическая школа. 2018. С. 238-241.

Дмитриев О.С., Мищенко С.В., Дмитриев А.О. Касатонов И.С., Дмитриев С.О. Интегрированная информационно-измерительная система исследования свойств и расчета режимов отверждения полимерных композитов // Вестник ТГТУ. 2008. Т. 14. № 2. С. 230–240.

СИНТЕЗ ГРУБОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ С ИДЕНТИФИКАТОРОМ СОСТОЯНИЯ

Synthesis of coarse control system of non-stationary objects

А.Я. Лащев, В.В. Мешков

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва

А.Я. Лащев, к-т техн. наук, доц., (Россия, Москва, МИРЭА – РТУ),

В.В. Мешков, к-т техн. наук, доц., (Россия, Москва, МИРЭА – РТУ)

С учётом динамики привода методом покомпонентного формирования управлений синтезирована грубая система управления с идентификатором состояния нестационарного объекта. Синтез идентификатора состояния и грубой системы управления не использует гипотезу квазистационарности параметров объекта.

Данная работа представляет собой развитие опубликованной в [1] грубой системы управления нестационарным объектом управления порядка «n», в которой приведён синтез ПИД - регулятора, содер-

жащего n-1 производную ошибки управления (ПИДД - регулятор). Синтез ПИДД-регулятора был проведён методом покомпонентного формирования управлений (МПФУ) [2]. При этом изначально сигнал управления формировался в виде стандартной формы от ошибки системы. Затем сигналы производных в ПИДД –регуляторе были получены как разности сигналов производных сигналов задания с выходов эталонной модели и соответствующих датчиков состояния с выходов объекта управления

(ОУ). Поэтому структура ПИДД-регулятора не содержала дифференциаторов сигнала задания системы.

Является актуальной задача замены измерителей производных выходного сигнала идентификатором состояния нестационарного объекта управления [3], метод синтеза которого на сегодня не известен. Для синтеза структуры астатического идентификатора состояния используется МПФУ.

Моделирование грубой СУ с коррекцией по входу и по выходу (совместно и отдельно) с идентификатором состояния подтвердило работоспособность синтезированных идентификатора и систем. При этом параметры менялись плавно и скачком, а выходы систем поддерживались равными заданным эталонным значениям.

Список литературы

1. Лацев А. Я., Мешков В.В. Синтез грубой системы управления нестационарными объектами. Современные технологии в задачах управления, автоматике и обработки информации. сб. тр. XXVII Междунар. науч.-техн. конф. 14-20 сентября 2018 г. Алушта. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО ТГТУ, 2018, С. 280.
2. Лацев А.Я. Управление жёсткостью крепления упругодеформированных элементов конструкций. Приборы и системы Управление, контроль, диагностика. 2006. С.8-12.
3. Андреев Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами. Ю.Н. -М.: Наука, 1976, С.424.

Секция 2. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ, ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ В ОБЛАСТИ АДМИНИСТРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ И ЭКОНОМИКИ

АЛГОРИТМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО СИНТЕЗА УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ НАЛИЧИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Intelligent algorithm of control actions synthesis in the presence of parametric perturbations

А.Н. Грибков, Е.С. Полякова

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Рассмотрен алгоритм интеллектуального синтеза управляющих воздействий технологическим объектом, учитывающий влияние параметрических возмущений. Алгоритм основан на совместном применении принципа максимума Понтрягина, метода синтезирующих переменных и механизма нечеткого логического вывода.

Разработка алгоритмического обеспечения информационно-управляющих систем сложными технологическими объектами представляет собой актуальную и весьма трудоемкую задачу. При создании алгоритма синтеза оптимальных управляющих воздействий необходимо учитывать, что решение задачи и успешное достижение цели управления зависит от множества факторов, к которым можно отнести наличие ограничений на управляющие воздействия и временной интервал управления, а также интенсивность и характер влияния случайных возмущений.

Рассмотрим математическую постановку задачи оптимального энергосберегающего управления динамическими режимами технологического объекта:

$$\dot{z} = az(t) + bu(t); \quad (1)$$

$$z(t_0) = z_0 \rightarrow z(t_k) = z_k; \quad (2)$$

$$\forall t \in [t_0, t_k]: u(t) \in [u_n, u_b]; \quad (3)$$

$$J_3 = \int_{t_0}^{t_k} u^2(t) dt \rightarrow \min. \quad (4)$$

В данной задаче: a, b – параметры модели динамики объекта; $z(t)$ – фазовая координата; $u(t)$ – управляющее воздействие; z_0, z_k – начальное и

конечное значения фазовой координаты; u_n, u_b – граничные значения управляющего воздействия; J_3 – минимизируемый функционал (затрат энергии).

Объект, описываемый моделью (1), необходимо за заданный конечный интервал времени перевести из начального состояния в конечное (2), при наличии ограничений на управляющее воздействие (3) с минимумом функционала (4). Необходимо также учитывать, что в реальных условиях работы параметры объекта могут иметь некоторую неопределенность, например, на изменение параметров могут воздействовать неточное задание начальных условий или случайное изменение режимов работы объекта [1].

Согласно методу синтезирующих переменных, состояние объекта в любой момент времени характеризуется вектором $\Lambda = (L_1(t, R), \dots, L_n(t, R))$, где

$L_i(t, R), i = \overline{1, n}$ – значения синтезирующих переменных, зависящих от текущего времени и массива исходных данных задачи оптимального управления R .

На практике, из-за действия возмущений, возможно изменение параметров модели объекта, при этом происходит отклонение вектора Λ от расчетной траектории на некоторую величину $\Delta\Lambda$.

Предлагается при наличии параметрических возмущений использовать следующий алгоритм интеллектуального синтеза управляющих воздействий с корректируемой стратегией

$$u(t) = \alpha \cdot u_{opt}(t) + (1 - \alpha) \cdot u_{tp}, \quad (5)$$

где $u_{opt}(t)$ – расчетное оптимальное управление (с программной или позиционной стратегией); u_{tp} – граничное значение управляющего воздействия (равное u_n или u_b); α – весовой коэффициент,

подбираемый в течение интервала управления с использованием механизма нечеткого логического вывода в зависимости от величины $\Delta\Lambda$.

Следует отметить, что наиболее часто применяемые стратегии реализации управления (программная и позиционная) в условиях неопределенности параметров объекта имеют ряд недостатков. В частности, программная стратегия позволяет получить более высокий эффект энергосбережения ($J_{\varepsilon} \rightarrow \min$), но проигрывает позиционной в точности вывода объекта на заданный режим ($|z(t_k) - z_k| \rightarrow \min$). Применение рассмотренного интеллектуального алгоритма (5) позволяет совместить оба критерия и учитывать влияние параметрических возмущений за счет корректируемой стратегии управления.

Материал подготовлен при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований, проект №18-08-00555-а.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственное задание. Проект «Интеллектуальная информационно-измерительная и управляющая система оперативного контроля теплофизических характеристик теплоизоляционных материалов, применяемых в условиях Арктики. Разработка теоретических основ, методологии построения интеллектуальных информационно-измерительных и управляющих систем»).

Список литературы

1. Артемова, С.В. Информационная технология анализа и синтеза энергосберегающего управления с использованием нечеткой логики / С.В. Артемова, А.Н. Грибков // Информационные системы и процессы. – Тамбов-Москва-С.-Петербург-Баку-Вена: Издательство «Нобелистика», 2003. – С. 165-169.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В САЕ ПРОГРАММЕ ГЛАВНОГО РЕДУКТОРА ДВУХВИНТОВОГО ВЕРТОЛЕТА С УЧЕТОМ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ

Computer-aided design cae program at the main gearbox screw of the helicopter with the control mode of the engine

В.А. Крюков, А.В. Плясов, З.Т. Нгуен

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет»

В приводах вертолетов размещаются механические передачи сцеплением, их система смазки и охлаждения, информационные механизмы, датчики и газотурбинные двигатели с системой управления, которые сложно разместить внутри фюзеляжа вертолета. К рассмотрению предлагается новая планетарная передача в составе главного редуктора на базе 3к-2g-h с равными передаточными отношениями, в которых при автоматизированном проектировании можно реализовать функционирование главного редуктора с переменными режимами работы двигателей, как единой системы.

Впервые новая двухступенчатая планетарная передача 3к-2g-h [1], разработанная на кафедре «Проектирование механизмов и деталей машин», была использована в электроприводах передвижения тележки мостового крана по заказу предприятия ООО «Стройтехника» (г. Донской Тульской области). Дальнейшее внедрение и апробацию планетарная передача 3к-2g-h получила в рамках гранта по Постановлению Правительства РФ № 218. Благодаря финансированию государства удалось испытать изготовленные промышленные образцы интеллектуального универсального многооборотного электропривода с этой передачей на сертифицированных стендах и на месте будущей эксплуатации. Испытания подтвердили перспективность данной планетарной передачи 3к-2g-h. От многих

организаций поступали вопросы и предложения о разработке новых трансмиссий на базе новых передач многие годы. Основные требования, которые ставились заказчиками, заключались в следующем: минимальные габаритно-массовые характеристики, максимальный коэффициент заполнения пространства внутри главного редуктора, высокий коэффициент полезного действия, соосное расположение валов, универсальность, унификация деталей по форме и размерам, а также передача механической энергии при преобразовании короткими кинематическими цепями.

В большинстве существующих трансмиссий имеется один входной вал и один выходной вал, которые связаны с двигателем и рабочим органом машины. В случае рассмотрения вертолетов и других летательных аппаратов требуется резервные источники, т.е. двигатели и другие устройства, которые повышают надежность, а также обеспечивают оптимальную компоновку. Суммирование и преобразование вращательных движений может происходить последовательно или параллельно с применением дифференциальных передач: со степенью свободы равной двум или одному (замкнутые дифференциальные или квазидифференциальные) [2]. Применение дифференциальных передач со степенью равной двум в рамках транспортных машин огра-

ничено из-за возможной циркуляции мощности, что возможно приведет к потерям мощности.

Применение планетарных передач в главных редукторах вертолетов средних размеров является подавляющим. Обусловлено это предъявляемыми требованиями к главному редуктору, кроме вертолета Ми-26, у которого фактически планетарная передача 2k-h с двумя внешними зацеплениями и остановленным водилом. В вертолетах Ка-52, Ка-50 и других в семействе по двухвинтовой схеме предъявляется другое требование – маневренность при опасных и переменных условиях эксплуатации. Практика применения в боевых и морских действиях это подтвердило. Учитывая меняющийся климат на земле, следует развивать такие транспортные системы, а именно предлагается к использованию планетарная передача на базе планетарной передачи 3k-2g-h, которую можно было бы назвать по количеству центральных колес k, сателлитов g и водила h – 4k-3g-h [1]. Все сателлиты имеют близкое число зубьев и меньше числа зубьев центральных колес для обеспечения равной прочности зубьев и подшипников сателлитов по времени эксплуатации. Опорное (остановленное) центральное колесо, установленное через подшипник качения в корпусе, сопрягается с датчиками силы для оценки крутящего момента на выходном валу. Остальные центральные колеса в предлагаемой схеме вращаются в разных направлениях вследствие того, что передаточное отношение от входного вала на два зависимых выхода с разным знаком. Т.е. используются две тихоходные ступени с единой неразделя-

емой быстроходной ступенью посредством общего входного вала с тремя центральными колесами и четырехщечковым водилом. Для системного анализа работы на первых этапах проектирования управляемого привода была использована современная специализированная программа компании KissSoftAG. В её состав входят модули с шаблонами для расчета KissSoft по Российским и зарубежным стандартам, которые могут быть объединены между собой посредством обмена данными, реализованного в модуле KissSys.

Список литературы

1. Сидоров П.Г., Пашин А.А., Плясов А.В и др. Алгоритм анализа и синтеза и формирование внутренних эвольвентных зубчатых зацеплений с гарантированными характеристиками // Известия ТулГУ. Сер. Машиностроение. Система приводов. 2004, С. 51 – 60
2. Сидоров П.Г., Крюков В.А., Плясов А.В. Новое поколение многопоточных рычажно-зубчатых передач в высокоэнерговооруженных приводах машин воздушного, водного, наземного и подземного базирования / Теория и практика зубчатых передач // Сборник трудов международного симпозиума. Научный редактор В.И. Гольдфарб. 2014 – Ижевск : Изд-во [ИжГТУ им. М.Т. Калашиникова](#). 2014, С. 468-477.

ВНЕДРЕНИЕ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ПРОИЗВОДСТВО

The introduction of augmented reality in manufacturing

И.О. Рузняев, И.И. Кочегаров

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»

И.О. Рузняев – студент кафедры «Конструирование и производство радиоаппаратуры», научный руководитель к.т.н., доцент И.И. Кочегаров

В статье рассматриваются современное положение дел в области дополненной реальности. Приводятся примеры использования в областях, связанных с проектированием, производством и контролем выпускаемой продукции.

Машины, двигатели, всевозможное оборудование и устройства, становятся все более сложными в конструкции по сравнению с их более ранними аналогами. Дополненная реальность (AR) это наложение виртуального, цифрового интерактивного проецируемого слоя информации, поверх и внутри сценария реальности.

Обучение на рабочем месте является одним из аспектов производства, где AR окажется благом, шаг за шагом изучая цифровые руководства для процесса сборки, подсказки и советы от опытных техников, направляющих руки стажера через каждый

этап. AR может освободить рабочую силу, поскольку не будет необходимости в расширенной индивидуальной подготовке, поскольку информация может быть доступна в любое время, где угодно и кем угодно.

Инженер на месте может использовать мобильный телефон или камеру планшета, чтобы определить, где и в чем проблема, и соответствующие инструкции могут быть наложены графически на их устройство. Опытный инженер не только может помочь подготовить данные для молодого техника, но они также могут поговорить с этим человеком, если это необходимо, и выделить в режиме реального времени, какие проблемы, как их решить, и что им для этого нужно [1].

В автоматизации инженеры будут визуализировать промышленное оборудование с помощью графиче-

ков, которые позволят наблюдать в режиме реального времени, как машина ведет себя в определенной зоне. Кроме того, они увидят, есть ли проблема, где именно проблема и как исправить эту проблему. Новые сотрудники смогут быстрее совершенствоваться с помощью интерактивных руководств, которые помогут в реальном времени взаимодействовать с оборудованием. Это позволит им быть более продуктивными.

Примеры использования включают обработку и производство, образование и сотрудничество, планирование завода, сборку, безопасность, тестирование и цифровую разработку прототипов.

Рассматриваются примеры современного использования для решения задач обучения и контроля для обслуживающего персонала. Они смогут лучше выполнять свои задачи, если у них есть необходимая информация перед глазами и два основных рабочих инструмента, поверх их мозга, свободны: левая рука и правая рука. В результате мы получим плавные процессы производства и реализацию Индустрии 4.0 [2].

Также к преимуществам следует отнести, что не нужно помнить, где находятся необходимые детали, или искать их, если вы новый сотрудник, поскольку AR будет направлять вас. Сканирование продукта с помощью взгляда вместо ручного сканирования экономит время и может также определить, является ли это изделие исправным, и находится ли оно на своём месте. Дополненная реальность предлагает отличную альтернативу экономии

времени для таких предприятий, в которых это является ключевым фактором успеха.

Также дополненную реальность можно использовать для оптимизации доставки с помощью различных параметров: точно определить, что находится внутри посылки, сколько она весит, ее точные размеры, является ли она хрупкой, ее способ доставки и пункт назначения. Эти данные будут использоваться для расчета требуемого пространства, необходимого для перевозки, и его местоположения для оптимизации маршрута доставки. Когда водитель приближается к точке доставки, в кабине грузовика AR также может предоставить инструкции по доставке, «оставшееся расстояние» и направление движения, показывая альтернативные маршруты, если возникнут какие-то проблемы. Вся информация с точной точкой доставки, выделенной в цифровом виде, спасет водителя от поиска груза и может, например, отображаться на лобовом стекле автомобиля.

Очевидный потенциал AR в отрасли и все вспомогательные системы, которые обслуживают эту арену, огромны и, конечно, не ограничиваются несколькими примерами, упомянутыми в этой статье.

Список литературы

1. Хелен Папагианнис. *Дополненная реальность. Все, что вы хотели узнать о технологии будущего.* – Издательство «Бомбора», 2019. – 288 с.
2. Dieter Schmalstieg, Tobias Hollerer. *Augmented Reality: Principles and Practice.* – Publisher «Addison-Wesley Professional», 2016 - 528 p.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ИНТЕРВАЛЬНОГО ВИДА В ГРАФИЧЕСКОЙ СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ LABVIEW

Modeling Criteria Interval View in the Graphical Development Environment labview

А.В. Коваленко, Нэй Мью Чжо, А.А. Лупачев

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

А.В. Коваленко – студент,

*Нэй Мью Чжо – аспирант кафедры информационно-измерительной техники,
научный руководитель доцент А.А. Лупачев*

Рассматривается моделирование модернизированного критерия интервального вида окончания переходного процесса в измерительной цепи в режиме on-line. В качестве модели служит динамическое звено первого порядка.

При определении момента наступления установившегося значения (ОМУЗ) переходного процесса (ПП) в объекте испытаний и/или измерительной цепи (ИЦ) средства измерения используются критерии интервального вида (КИВ). Однако в режиме on-line важно учитывать, что при этом возможно ложноположительное решение критерия [1]. Это связано с параметрической неопределённостью ИЦ [2].

Критерий интервального вида использует текущую информацию о сигнале ПП и о приращении сигнала ПП на заданном интервале наблюдения (ИН).

Как показали исследования, существует критическая постоянная критерия (КПК) для модели ИЦ, представленной моделями простейших динамических звеньев. КПК ограничивает область применения всех известных КИВ.

С целью преодоления подобных ограничений необходимо разработать надёжные алгоритмы, реализующие указанные критерии. Для их построения следует использовать КИВ с набором переключаемых ИН. Длительность соседних интервалов наблюдения изменяется целенаправленно на основе текущей информации.

Классический критерий ОМУЗ разработан для случая, когда экспериментальные измерительные данные удовлетворяют априорной модели ИЦ и являются оптимальными для этой модели. В практических задачах испытаний сложных объектов априорная модель нередко нарушается и поэтому желательно использовать такие алгоритмы - модифицированные критерии (МК), которые слабо зависят от нарушения существующих ограничений, однако дают достаточно высокую точность оценки момента ОМУЗ. Такие МК, обычно называются робастными или надёжными [3]. МК могут найти широкое применение в практике испытаний объектов на ступенчатое воздействие, например, температурное.

Моделирование проводилось в графической среде программирования LabVIEW компанией National Instruments (NI). Программа состоит из двух частей:

блочной диаграммы, описывающей логику работы виртуальной измерительной цепи с блоком ОЭД и МК;

лицевой панели, описывающей внешний интерфейс виртуального прибора с элементами визуализации решений КИВ и имеющей дружелюбный, удобный в использовании пользовательский интерфейс.

В данной работе представлены блочная диаграмма, моделирующая алгоритмы КИВ в абсолютной и в относительных формах задания допускаемой динамической погрешности ОМУЗ. Результаты моделирования подтвердили надёжную работоспособ-

ность МК с уверенным преодолением параметрической неопределённости.

В дальнейшем планируется перевести полностью программную модель в физическую модель системы измерения с использованием «Системы автоматизации электрофизического эксперимента», построенной на базе модульного измерительного оборудования, производимого NI.

Список литературы

1. Lupachev A., Sapelkin I., Smagin A. Interval criterion of the steady-state of the transient in the measuring circuit. // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2016. - 4 p.
2. Бобцов А.А., Никифоров В.О., Пыркин А.А., Слита О.В., Ушаков А.В. Методы адаптивного и робастного управления нелинейными объектами в приборостроении. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 277 с.
3. Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние, 1990. – 288 с.
4. Bekhtin Yu.S., Lupachev A.A., Serov A.N., Kovalenko A.V. Analysis of interval criteria for determining the end of the transient process in the measuring circuit. // proceedings of the 7th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO). 10-14 June, 2018, Budva, Montenegro.

МЕТОДИКА ДЕКОМПОЗИЦИИ МОДЕЛИ ЭНЕРГОБЛОКА

Decomposition procedure of the model of the thermal power plant turboset

Е.Ю. Сидорова, А.Г. Соболева

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

А.Г. Соболева – студентка каф. управления и информатики,
научный руководитель старший преподаватель Е.Ю. Сидорова

В работе решается задача декомпозиции модели энергоблока путем понижения ее размерности за счет нахождения голономных связей между переменными.

При описании процессов в электромеханических системах исследователю приходится иметь дело с разнотемповостью получаемой модели, которая обусловлена различными скоростями свободных движений протекающих в рассматриваемых системах механических и электрических процессов. Вычислительная жесткость, а также, в общем случае, нелинейность и, зачастую, высокий порядок таких моделей ставят перед исследователем задачу их декомпозиции. Эта задача может быть решена на основе теории сингулярных возмущений, если возможно привести модель электромеханической системы к виду с явно выделенным малым параметром при производных. Однако на практике модели

систем обычно получаются в форме моделей Коши, и в них отсутствуют явные признаки свойства разнотемповости. В связи с этим при декомпозиции модели электромеханической системы возникает необходимость решения сразу двух подзадач: определения принадлежности модели классу разнотемповых и построения упрощенной (вырожденной) модели пониженного порядка. Настоящий доклад посвящен решению задачи декомпозиции модели электрической части энергоблока. При этом проверка принадлежности данной модели классу разнотемповых осуществляется на основе разработанного в [1] подхода, а для ее упрощения используется развитый в [2] новый метод.

Математическая модель электрической части энергоблока СГ2-500-4У2 представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений 12-го порядка:

$$\begin{cases} d\bar{x}/dt = A_x \bar{x} + (1+s)y_1 \bar{b}_x^1 + u_1 \bar{b}_x^2, \\ d\bar{y}/dt = A_y \bar{y} + (1+s)x_1 \bar{b}_y^1, \\ d\bar{z}/dt = A_z \bar{z} + (M_0 - s/\sigma) \bar{b}_z, \\ d\bar{u}/dt = A_u \bar{u} + U_0 \bar{b}_u^1 + R \sqrt{(\bar{c}_x^T \bar{x})^2 + (\bar{c}_y^T \bar{y})^2} \bar{b}_u^2, \\ ds/dt = z_1 - x_1 (\bar{c}_y^T \bar{y}) - y_1 (\bar{c}_x^T \bar{x}), \end{cases}$$

где переменные состояния описывают как механические, так и электрические процессы в системе. Для выявления свойства разнотемповости рассматриваемый временной интервал разбивается на k малых интервалов, на каждом из которых строится соответствующая линейная модель. Полученная совокупность всех k линеаризованных моделей определяет приближенную модель нелинейной системы, и для каждой из них проверяется ее принадлежность классу разнотемповых. Признаком разнотемповости линейных моделей служит наличие у их системных матриц собственных значений, вещественные части которых сильно отличаются по величине. А поскольку функции в правой части модели (1) являются линейными по собственным переменным, то, как показано в [1], из разнотемповости совокупности k линейных моделей следует разнотемповость и исходной нелинейной модели (1). Моделирование в среде MATLAB/Simulink показало наличие нескольких групп сильно разнесенных

собственных значений системных матриц линеаризованных систем, что свидетельствует о многотемповости модели (1) электрической части энергоблока. Наибольший модуль вещественных частей имеет пара комплексно-сопряженных собственных значений, поэтому согласно предложенному в [2] подходу понижение размерности модели (1) должно осуществляться сразу на 2 порядка путем нахождения голономных связей вида

$$\sum_{i=1}^{10} \alpha_i \Delta x_i(t_v) = \Delta x_{12}(t_v) \quad \text{и} \quad \sum_{i=1}^{10} \beta_i \Delta x_i(t_v) = \Delta x_{11}(t_v)$$

между переменными каждой из k линеаризованных моделей, составляемых для $(n-2)=10$ различных моментов времени t_v . В дальнейшем предполагается провести декомпозицию модели энергоблока в несколько этапов, число которых совпадает с числом групп доминирующих собственных значений системных матриц линеаризованных систем.

Список литературы

- Державин О.М., Сидорова Е.Ю. О сингулярно возмущенных моделях динамических систем с представлением возмущения в неявном виде // Вестник МЭИ, № 5, 2013, с. 150-155.
- Державин О.М., Сидорова Е.Ю., Вишняков Е.А. Декомпозиция неявного вида сингулярно возмущенной модели динамической системы // Естественные и технические науки, № 2 (128), 2019, с. 189-192.

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ И УГЛОВОЙ ОРИЕНТАЦИИ САМОЛЕТА НА АЭРОДРОМНОЙ СТОЯНКЕ ПРИ ПОМОЩИ НАЗЕМНОГО КОЛЁСНОГО РОБОТА

The algorithm for determining the location and angular orientation of the aircraft on the aerodrome parking with the help of a ground-wave robot

И.А. Никитенко, М.В. Ивакин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

И.А. Никитенко, М.В. Ивакин – студенты кафедры 305 "Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации", научный руководитель инженер К.С. Лельков

Рассмотрен технический состав роботизированного комплекса. Описан алгоритм определения типа самолёта, его ориентации, и взаимного расположения самолёта и робота на основе измерений сканирующего лазерного дальномера.

Для выявления неисправностей, их устранения и допуска самолетов к дальнейшей эксплуатации перед каждым полетом выполняется визуальный осмотр, который проводится специалистом. Использование роботизированного комплекса для решения этой задачи позволит сэкономить время, а оснащение робота современными системами технического зрения может позволить выявить дефекты меньшего размера, чем при стандартном визуальном осмотре.

В настоящее время в научно-исследовательском отделе кафедры 305 московского авиационного института проводятся работы над созданием такого роботизированного комплекса. Комплекс состоит из двух частей: наземного колёсного робота и квадрокоптера – это позволяет проводить осмотр воздушного судна как снизу, так и сверху. Оба робота имеют средства видеонаблюдения, с помощью которых можно не только обнаружить неисправность, но и фиксировать несанкционированное проникновение на стоянку осматриваемого воздушного судна.

Для осуществления осмотра воздушного судна необходимо сформировать полётное задание для квадрокоптера и маршрут проезда для наземного робота – которые отличаются для каждой модели ВС. Целью работы являлось исследование возмож-

ности создания алгоритма определения типа воздушного судна, его ориентации и взаимного расположения робота и воздушного судна для формирования полётного задания.

В основе реализованного алгоритма лежат измерения расстояний между стойками шасси. Это расстояние для каждой модели самолета различно. В ходе работы алгоритма строится геометрическая аппроксимация модели самолета на основе осреднённых координат каждой стойки шасси. Сравнивая полученную геометрическую аппроксимацию с базой данных самолетов, делается вывод о соответствии осматриваемого самолета определенной модели. Ориентация воздушного судна (угол курса) определяется исходя из координат носового колеса и средней точки между двумя остальными колёсами. Это позволяет сформировать полётное задание для квадрокоптера таким образом, чтобы избежать пролётов над воздушным судном и осмотреть все необходимые точки на его корпусе.

В рамках работы было проведено математическое моделирование предложенного алгоритма в среде программирования MATLAB [1]. Полученные результаты показали возможность практической реализации разработанного алгоритма.

Список литературы

Андреанова О.Г. Моделирование движения колёсного робота по заданному пути // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал. 2011. № 10.

ЦИФРОВОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ В ЦТПО РТУ МИРЭА ДЛЯ УЧАЩИХСЯ ШКОЛ ГОРОДА МОСКВЫ

Digital prototyping for pupils of Moscow schools at ETSC RTU MIREA

Р.И. Александрова, М.А. Волкова

МИРЭА – Российский технологический университет

В докладе рассматриваются подходы к профориентационной работе со школьниками в центре технологической поддержки образования (ЦТПО) МИРЭА, освоению программ дополнительного образования школьников «Цифровое прототипирование» и «Основы работы с технологическим оборудованием».

В Центре технологической поддержки образования РТУ МИРЭА в кампусе на пр. Вернадского, 78 проходят занятия по дополнительным образовательным программам технической направленности, где ребята могут проявить себя в техническом

творчестве, познакомиться с современной робототехникой, научиться ее проектировать и работать на ней. Обучение направлено на формирование общего уровня технической грамотности, знакомство с новейшими достижениями в области робототехники, развитие интереса к техническому творчеству.

Осваивая программы «Цифровое прототипирование» (1 и 2 уровень), «Основы работы с технологическим оборудованием» ребята из московских школ расширяют свой технический кругозор в актуальном направлении техники и технологии. Знакомятся с современными подходами к проектированию, цифровому прототипированию и автоматизированному производству.

Обучение проходит в несколько этапов: получение навыков работы с системой автоматизированного проектирования Autodesk Inventor и 3D - редактором Blender [1,2]; знакомство с программным обеспечением для печати на 3D принтере (Cura) и для фрезеровки на станке с ЧПУ (VPanel). Школьники изучают теоретические аспекты создания объемных моделей и получения готовых изделий. На начальном уровне ребята учатся создавать двумерные эскизы и трехмерные модели, используя разные функции САПР Inventor. Программа второго уровня предполагает создание и разработку более серьезных моделей, например, различных деталей, из которых потом делаются сборки и по ним - чертежи. Большой популярностью у школьников поль-

зуются самостоятельные задания, когда они разрабатывают собственный проект на заданную преподавателем тему, в котором важны не только полученные в ходе занятий навыки, но и творческая составляющая. Интерес подогревает возможность воплотить созданные в программе работы в реальные объекты на технологическом оборудовании кафедры проблем управления в ЦТПО МИРЭА: на 3D - принтере и на фрезерном станке.

Особый интерес к занятиям проявляют учащиеся выпускных инженерных классов, которые заинтересованы в дополнительной практической работе, ведь им надо сдавать предпрофессиональный экзамен. На занятиях ребята осваивают и материал демонстрационного экзамена, который проводит Департамент образования г. Москвы для учащихся сети ЦТПО. Опыт показал, что планомерные занятия дают хорошие результаты – все наши ученики, принимавшие участие в экзаменах, справились с заданиями.

Все занятия проводятся на бюджетной основе, при регистрации на портале госуслуг pgu.mos.ru.

Список литературы

Большаков В. П. Основы 3D-моделирования. Изучаем работу в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor. – Издательский дом "Питер", 2013.

Мальцева Е. И., Озерова М. И. Особенности создания 3d-моделей в blender //информационные технологии в науке и производстве. – 2018. – С. 105-111.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТА НА ВЕРОЯТНОСТЬ ЕГО РАСПОЗНАВАНИЯ НА НЕСКОЛЬКИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СНИМКАХ

Research on the influence of object form representation on the probability of its recognition on several sequential images

Р.Р. Садеков

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», г. Москва

Р.Р. Садеков – аспирант кафедры 305 «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации», научный руководитель доцент каф.305 к.т.н. Д.А. Антонов

Работа посвящена исследованию различных способов представления опорных областей на фотоснимке для слежения за ними в системе одновременной навигации и картирования беспилотного летательного аппарата (БЛА). Приведены результаты исследования различных способов выявления опорных областей на последовательных кадрах видеоряда.

Основой навигационного комплекса современных беспилотных летательных аппаратов (БЛА) среднего класса самолётного типа, как правило, является бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС). Основными преимуществами БИНС являются: автономность, помехозащищен-

ность и отсутствие внешних детектируемых излучений. При этом, недостатком БИНС является нарастающая со временем погрешность, что требует коррекции. В большинстве случаев, на практике, показания БИНС БЛА корректируются по показаниям глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС) с применением алгоритмов комплексной обработки информации (КОИ). Однако, в отличие от БИНС, сигналы ГНСС уязвимы, в том числе, к действию искусственных помех, что может привести к выходу точностных характеристик навигационного комплекса (НК) БЛА за требуемые пределы. Одним из возможных корректоров БИНС,

слабо подверженных влиянию внешних воздействий, может являться оптико-электронная система. В ходе выполнения научно-исследовательской работы (НИР) по созданию автономной навигационной системы БПЛА, использующая показания БИНС и ОЭС, возникла задача разработки алгоритмов распознавания изображений ориентиров на подстилающей поверхности ОЭС БЛА и определения пространственного положения точки фотографирования. Известны методы определения параметров ориентации и навигации объекта на основе фотографирования опорных областей с известными координатами (фотограмметрия). Однако, возможно отсутствие достоверных карт местности на борту БЛА и, следовательно, возникает задача поиска опорных областей на фотоснимке и оценивания их координат для последующей корректировкой показаний БИНС.

Таким образом, задача обработки последовательных кадров видеоряда сводится к нахождению контрастных опорных областей и их распознаванию на последующих кадрах. Данные опорные области требуется аппроксимировать некоторыми геометрическими фигурами с дальнейшим сжатием зон неопределенности последних и уточнением координат опорных точек (центров объектов).

В работе предложена методика корректировки камеры для устранения искривления (дисторсии) изображения, вносимого особенностями объектива камеры. Проведён аналитический обзор методов нахождения и представления опорных областей и проведена оценка вероятностей распознавания опорных областей на последовательных снимках видеоряда, при различных формах представления объектов методами имитационного моделирования. *Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Задание №8.2118.2017/4.6 на выполнение НИР в рамках проектной части гос. задания в сфере научной деятельности).*

Список литературы

Миллер Б.М., Рубинович Е.Я. – «Проблемы комплексирования оптико-электронных систем наблюдения с навигационными системами БПЛА», XII Всероссийское совещание по проблемам управления С:3657-3670, Москва 2014г.

Лунев Е.М. - Автореферат «Программно-алгоритмическое обеспечение приборного комплекса беспилотного летательного аппарата для определения навигационных параметров на базе фотоизображения», Москва, 2011г.

ПОДГОТОВКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О ВЫПОЛНЕНИИ ПРОЕКТА УЛУЧШЕНИЯ ПРОЦЕССА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Decision-making preparation about the implementation of the process improvement project in testing laboratory

С.С.С. Аль-Бусаиди, С.В. Пономарев

Тамбовский государственный технический университет

С.С.С. Аль-Бусаиди – аспирант кафедры «Мехатроника и технологические измерения», научный руководитель профессор С.В. Пономарев

В докладе рассмотрены: 1) аналитическая модель, используемая при оценке показателей результативности и относительной эффективности выполнения процессов в испытательной лаборатории (ИЛ); 2) процедурная модель поддержки работы менеджера при подготовке принятия решения об осуществлении проекта улучшения процесса в ИЛ.

По аналитической модели показатели результативности процесса в отчетном году представляются в виде [1]: $P_{вх}^{отч} = Z_{план}^{отч} / Z_{факт}^{отч}$, $P_{вых}^{отч} = B_{факт}^{отч} / B_{план}^{отч}$, где $P_{вх}^{отч}$, $P_{вых}^{отч}$ – результативности процесса по входу и по выходу в отчетном году; $Z_{план}^{отч}$, $Z_{факт}^{отч}$ – плановые и фактические затраты ресурсов, оцениваемые на входе процесса в отчетном году; $B_{план}^{отч}$, $B_{факт}^{отч}$ – плановый и фактический выпуск продукции (предоставления услуги), оцениваемые на выходе процесса. Для оценки эффективности процесса в отчетном году следует использовать показатели:

$$U_{план}^{отч} = Z_{план}^{отч} / B_{план}^{отч}, \quad U_{факт}^{отч} = Z_{факт}^{отч} / B_{факт}^{отч}, \quad \text{где } U_{план}^{отч},$$

$U_{факт}^{отч}$ – плановые и фактические удельные затраты на выпуск единицы продукции или услуги. На основании выполненных исследований для оценки (измерения) эффективности процесса системы менеджмента в испытательной лаборатории мы использовали показатель относительной эффективности вида: $\mathcal{E}^{отч} = P_{вх}^{отч} \cdot P_{вых}^{отч} = U_{план}^{отч} / U_{факт}^{отч}$. Аналогичные формулы для вычисления показателей результативности и эффективности предложено использовать также при планировании деятельности на очередной год и при оценке итогов функционирования процесса в очередном году.

Процедурная модель поддержки работы менеджера предусматривает выполнение следующих действий. После определения процесса ИЛ, требующего улучшения, созданная руководителем ИЛ (лицом, принимающим решение – ЛПР), команда специалистов-экспертов в соответствии с

рекомендациями методологии решения проблем определяют имеющуюся на начало работ фактическую ситуацию с выполнением этого процесса, в том числе, определяют значения показателей исполнения деятельности этого процесса в предыдущем (отчетном) году. После уяснения ситуации с выполнением процесса в отчетном году, проводят работу с целью повышения удовлетворенности потребителей и снижения затрат на выполнение процесса, а именно: 1) изучают возможности улучшения работы с поставщиками; 2) проводят работу с заказчиками (потребителями услуг ИЛ); 3) выявляют внутренние возможности улучшения деятельности в анализируемом процессе ИЛ. В процессе таких работ команда специалистов-экспертов разрабатывает проект улучшения деятельности в рассматриваемом процессе ИЛ, подготавливает и представляет ЛПР вариант проекта управленческого решения. В состав подготовленного проекта решения руководителю ИЛ (ЛПР) представляются сведения об ожидаемых значениях показателей результативности и относительной эффективности $\mathcal{E}^{ожид}$. Если рассчитанное ожидаемое значение $\mathcal{E}^{ожид}$ показателя относительной эффективности (подготовленного проекта улучшения деятельности в рассматриваемом процессе ИЛ) превышает, равно единице или незначительно меньше единицы, то ЛПР (руководитель ИЛ) обычно принимает решение об одобрении и последующем внедрении (перво-

начально в малом масштабе) проекта, подготовленного командой специалистов-экспертов. В противном случае, члены команды специалистов-экспертов приступают к уточнению результатов изучения внешних и внутренних возможностей улучшения рассматриваемого процесса ИЛ, а затем предоставляют ЛПР новый проект решения. После одобрения подготовленного решения об изменении процесса испытаний, вносят изменения (в малом масштабе) в процедуру выполнения этого процесса, а затем определяют достигнутые в очередном году фактические значения показателей. Если в очередном году получилось высокое значение показателя относительной эффективности $\mathcal{E}^{очер} \geq 1$ или $\mathcal{E}^{очер} \approx 1$, то ЛПР принимает решение об утверждении и постоянном применении новой процедуры выполнения улучшенного процесса.

Список литературы

Пономарев, С.В. *Управление качеством процессов и продукции: в 3 кн. Кн. 3: Специальные вопросы менеджмента качества процессов в производственной, коммерческой и образовательной сферах: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 221400 – Управление качеством / [С.В. Пономарев, С.В. Мищенко, Е.С. Мищенко и др.]; под ред. д-ра техн. наук, проф. С.В. Пономарева. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 220 с*

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРА СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЕГО ЛИЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Analytical model of the formation of an individual trajectory of training a special-purpose system operator based on his personal characteristics

А.А. Шишкин

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

А.А. Шишкин – аспирант кафедры «Информационные системы и защита информации», научный руководитель заведующий кафедрой Алексеев В.В.

В работе представлена разработанная автором аналитическая модель формирования индивидуальной траектории подготовки оператора системы специального назначения, позволяющая учитывать в процессе подготовки его личностные характеристики, что снижает время и повышает качество подготовки.

В настоящее время в процессе подготовки операторов систем специального назначения (ССН) имеются серьезные упущения, связанные как с недостаточным использованием современных математических методов, так и средств вычислительной техники, а также в процессе подготовки не учитываются личностные характеристики операторов [1, 2]. В связи с данной проблемой разработана аналитическая модель формирования индивидуальной тра-

ектории подготовки оператора ССН, позволяющая учитывать его личностные характеристики в процессе подготовки.

Разработанная аналитическая модель формирования индивидуальной траектории базируется на компетентностной концепции подготовки, согласно которой задача подготовки состоит в том, чтобы множество требуемых компетенций оператора ССН ($K_{тр}$) было включено в множество текущих ($K_{тек}$):

$$K_{тр} \subseteq K_{тек} \quad (1)$$

Основными показателями оператора ССН (O) в рамках разработанной аналитической модели формирования индивидуальной траектории подготовки являются его текущие компетенции и личностные характеристики (C_o):

$$O = \{K_{\text{тек}}, C_O\}. \quad (2)$$

Подготовка оператора ССН – это информационное воздействие на него, множество возможных видов которого (A) состоит из множеств форм (F) и методов (H) подготовки и форм контроля (V):

$$A = \{F, H, V\}, \quad (3)$$

которые в свою очередь делятся по видам на равные по количеству элементов подмножества, состоящие из конкретных элементов подготовки, обеспечивающих формирование у оператора ССН определенных компетенций [3].

Задача формирования индивидуальной траектории подготовки оператора ССН состоит в выборе из всех возможных видов информационного воздействия на оператора конкретных элементов подготовки исходя из его личностных характеристик и текущих компетенций. Выбор осуществляется в два этапа:

1. Функцией S на основе набора правил, хранящегося в базе знаний, из возможных видов информационного воздействия выбираются наиболее подходящие под личностные характеристики оператора:

$$S = f(A, C_O). \quad (4)$$

2. Полученное в результате первого этапа множество передается в функцию изменения состояния оператора T , которая выбирает из него конкретные элементы подготовки, обеспечивающие выполне-

ние задачи подготовки, представленной в выражении (1):

$$T = f(S, K_{\text{тр}}, K_{\text{тек}}). \quad (5)$$

Выражения (1) – (5) определяют основу аналитической модели формирования индивидуальной траектории подготовки оператора ССН, которая позволяет снизить время и повысить качество подготовки оператора ССН благодаря учету его личностных характеристик.

Список литературы

1. Дедов, Д.Л. *Виртуальный тренажерный комплекс предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера на основе моделирования деятельности человека-оператора* / Д.Л. Дедов, М.Н. Краснянский, А.А. Руднев // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. – 2012. – Т.18. – С. 834-839.
2. Краснянский, М.Н. *Математическое моделирование адаптивной системы управления профессиональным образованием* / М.Н. Краснянский, А.И. Попов, А.Д. Обухов // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. – 2017. – Т.23. – С. 196-208.
3. Алексеев, В.В. *Адаптивная информационная технология подготовки операторов систем специального назначения на основе компетентностного подхода* / В.В. Алексеев, А.А. Шишкин // *Правовая информатика*. – 2018. – № 13. – С. 60-69.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫМИ ОБЪЕКТАМИ С ЗАПАЗДЫВАНИЯМИ

Investigation of modal control of continuous objects with lags

Т.В. Ягодкина, А.Е. Джумагалиев, А.А. Ларин

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

А.Е. Джумагалиев – студент, А.А. Ларин – аспирант каф. управления и информатики, научный руководитель профессор Т.В. Ягодкина

Исследуются оптимальные параметры для работы модальных систем с запаздыванием. На основе математического моделирования и экспериментальных исследований получена зависимость между параметрами входных сигналов и точностью модели.

Одним из наиболее распространенных методов управления, основанных на представлении систем в пространстве состояний, является метод модального управления. Модальное управление (МУ), или синтез модальных регуляторов можно определить, как задачу управления, в которой изменяются моды (собственные числа матрицы объекта или системы) с целью достижения желаемого качества управления. Метод помещения всех корней (полюсов) замкнутой системы в любые наперед выбранные по-

ложения предоставляет разработчику широкие возможности обеспечения требуемых показателей качества протекания процессов и составляет предмет интенсивно разрабатываемой в настоящее время теории [1]. Для любого устройства, служащего для передачи информации, справедливо то, что выходная величина проявляется с некоторым запаздыванием на время τ относительно момента поступления информации на вход устройства. В ряде случаев это время настолько мало, что им пренебрегают и считают, что практически информация на входе и выходе возникает в один и тот же момент. Наиболее точными методами идентификации многомерных объектов являются методы, реализованные в секции «Ident» Matlab, поэтому для определения модели используется алгоритм метода идентифи-

кации на основе анализа подпространств. Однако стоит отметить, что вопросы точности и грубости модели идентификации для модальных систем с запаздыванием требуют дополнительных исследований.

Звено определяется как запаздывающее, если оно описывается уравнением $y(t) = x(t - \tau)$, где τ – время запаздывания. Передаточная функция звена запаздывания: $W(p) = \exp(-p\tau)$. Для увеличения точности моделирования данного звена необходимо изменять порядок его функции-аппроксимации Паде: чем больше это число, тем ближе переходный процесс к идеалу и тем дольше ведется расчет. Оптимальным числом является Padé Order = 10. Логарифмическая фазовая частотная характеристика не уходит в бесконечность и достоверна на протяжении 1,5 декады (до точки перегиба). Наиболее точными методами идентификации многомерных объектов являются методы, реализованные в секции «Ident» Matlab, поэтому для определения модели используется алгоритм метода идентификации на основе анализа подпространств, в основе которого лежит градиентный метод и в качестве критерия выбран интеграл от квадратов ошибок [2]. При проведении исследования в данной работе было выяснено, как изменяются выходы модели и объекта при изменении времени запаздывания.

Можно сделать вывод о том, что ошибка между выходами, при изменении величины запаздывания $\tau = 2T, 3T, \dots, 10T$ меняется пропорционально, как для одномерной, так и для многомерной систем. Даны рекомендации по выбору входных сигналов, что позволяет в результате идентификации с двумя входами и двумя выходами уточнить амплитуду входного сигнала PRBS для точного определения математической модели объекта по сигналу с достаточной малой амплитудой и временем идентификации; даны рекомендации по выбору $U_{\text{иден}}$ и $T_{\text{иден}}$ для многомерных объектов [3].

Список литературы

- Кузовков Н. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. М.: Машиностроение, 1976г.
- Осина А.В., Ву Ань Хиен, Ягодкина Т.В. Разработка метода построения инвариантных систем модального управления с идентификаторами // «Научные технологии» – М.: Издательство «Радиотехника» – 2015. – № 11. – С. 21-27.
- Ву Ань Хиен, Ягодкина Т.В. Синтез инвариантной системы адаптивного модального управления на базе следящей системы // «Фундаментальные исследования» - Издательский Дом «Академия Естественствознания» - 2016. - № 6 (часть 1). – С. 52-57.

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ХРОМОВОГО ПОКРЫТИЯ НА СФЕРИЧЕСКИХ УЗЛАХ

Technology of formation of thin-film chrome coating on spherical knots

М.В. Павлова, О.С. Юльметова, А.Г. Щербак

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Университет ИТМО, Санкт-Петербург

М.В. Павлова – студент института «Информационно-навигационных систем»,
научный руководитель доцент, к.т.н. О.С. Юльметова

В работе рассмотрена возможность напыления тонкопленочного покрытия хрома на сферический узел для обеспечения однородной поверхностной проводимости. Представлены технологии, позволяющие получить оптическое изображение с повышенной величиной контрастности и хромовое покрытие с хорошей адгезией. Выявлены зависимость удельного электрического сопротивления от толщины покрытия и влияние формирования оптического изображения на геометрию узла.

Для гироскопов с неконтактным подвесом сферического узла точность работы прибора напрямую зависит от точности изготовления чувствительного элемента. Чувствительный элемент шарового гироскопа, например, электростатического гироскопа [1], должен быть идеальным с точки зрения геометрии и дисбалансов. На сегодняшний день перспективным требованием, предъявляемым к сферическому узлу, является однородность поверхностной проводимости. Ротор электростатического гироскопа изготавливается из бериллия, на поверхность которого напыляется износостойкое покрытие нитрида титана [2] и финишной операцией, на данный момент, является нанесение оптического изображения [3,4]. В результате формирования оптического изображения на поверхности нитрида титана образуется оксид титана. Следовательно, поверхность сферического узла имеет разную электропроводность, что негативно сказывается на динамике ротора при его вращении в электростатическом подвесе. Это может быть обусловлено наличием поверхностной неоднородности сферического узла. В связи с чем, было предложено исследовать возможность напыления тонкопленочного хромового покрытия на финишную поверхность сферического узла, что и является целью представленного исследования.

Предварительные эксперименты выявили, что при увеличении толщины хромового покрытия контрастность оптического рисунка ухудшается, поэтому было необходимо разработать режим не только для напыления покрытия хрома методом катодно-ионной бомбардировки, но и для нанесения оптического изображения методом лазерной маркировки. За основу разработки режима форми-

рования оптического изображения с повышенной величиной контрастности была использована уже имеющаяся технология, обеспечивающая контрастность в пределах $0,4 \pm 0,05$ на длине волны 860-890 нм. Этот режим основан на применении многопроходной лазерной обработки для постепенного усиления контрастности, не приводящей к пережогам поверхности покрытия нитрида титана. Режим для напыления хрома на финишную поверхность ротора был выявлен в ходе экспериментально-исследовательских работ и обеспечил хорошую адгезию пленки хрома к поверхности сферического узла. Для анализа полученного покрытия были получены круглограммы, снимки оптических изображений с поверхности ротора и контрастность, полученная при формировании пространственной карты отражения.

В ходе настоящего исследования разработана технология напыления хрома методом катодно-ионной бомбардировки, позволяющая получить тонкопленочное хромовое покрытие с хорошей адгезией и толщиной порядка 15 нм. Выявлено, что увеличение длительности напыления уменьшает удельное электрическое сопротивление тонкопленочного хромового покрытия на порядок. Установлено, что повышение контрастности оптического изображения за счет увеличения числа проходов приводит к прожигу и формированию ступенчатого микро рельефа на поверхности сферического узла.

Список литературы

- Ландау Б.Е. *Электростатический гироскоп со сплошным ротором. Гироскопия и навигация*, №1, 1993, с. 6-12.
- Фомичев А.М., Юльметова О.С., Беляев С.Н., Щербак А.Г. *Устройство для напыления тонкопленочных покрытий на сферические роторы электростатического гироскопа. Патент РФ № 2555699. Бюл. 2015. № 5*
- Юльметова О.С., Щербак А.Г., Буцьк А.Я., Ландау Б.Е., Вейко В.П., Валетов В.А. *Способ изготовления ротора электростатического гироскопа. / Патент РФ 2498224, МПК G 01C25/00*

Юльметова О.С., Щербак А.Г., Вейко В.П., Юльметова Р.Ф., Щербак С.А. Управление контрастностью растрового рисунка при лазерной марки-

ровке: моделирование технологического процесса. Изв. вузов. Приборостроение. 2015. № 6(58). с.485-491.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ В ГИРОПРИБОРОСТРОЕНИИ

Research of the laser processing technology of the superhard materials in gyroscopic instrument making

О.Н. Послянова, О.С. Юльметова, А.Г. Щербак

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Университет ИТМО, Санкт-Петербург

О.Н. Послянова – студент института «Информационно-навигационных систем», научный руководитель доцент, к.т.н. Юльметова О.С.

Исследуется процесс лазерной обработки спеченного поликристаллического алмаза, обладающего повышенной твердостью и износостойкостью, с целью изменения шероховатости поверхности и получения профиля требуемой конфигурации. Предлагаемый лазерный метод обработки сверхтвердых и износостойких материалов рассматривается в качестве альтернативы механическому методу, который обладает низкой производительностью, сложностью технологического процесса и повышенными экономическими затратами.

В современном гироскопостроении появляется необходимость использования новых конструктивных материалов в связи с тем, что предъявляются повышенные требования к изготавливаемым деталям и узлам прецизионных приборов. Данные материалы обладают высокой твердостью, износостойкостью, прочностью, теплоустойчивостью повышенной коррозионной стойкостью, а так же способны сохранять эти свойства в условиях длительной работы под нагрузкой – что и является их главным преимуществом наряду с другими материалами [1]. Особо широкое распространение получили композиционные материалы для изготовления узлов ответственных приборов, где предъявляются повышенные физико-механические и физико-химические требования. Ярким примером использования композиционных материалов в гироскопии является гироскоп чувствительного элемента электростатического гироскопа, которая изготавливается из корундовой керамики, отличающейся высоким удельным электрическим сопротивлением и размерной стабильностью [2]. В настоящем исследовании объектом является поликристаллический алмазный композит, входящий в состав конструктивных узлов упорных и радиально-упорных подшипников специального назначения. Механическая обработка подобных материалов представляет собой довольно проблематичный, длительный и экономически затратный процесс, так как композит обладает крайне высокой твердостью и износостойкостью. Более того, обработанная поверхность обладает низким качеством и требует финишной обработки. Вследствие вышеперечисленных дово-

дов возникает необходимость исследования альтернативных технологических методов обработки сверхтвердых материалов [3], в качестве которых предложено рассмотреть технологию лазерной обработки, практически не имеющей ограничений по спектру применяемых материалов. Таким образом, **целью** работы является исследование возможности лазерной обработки спеченного поликристаллического алмаза.

В ходе исследований оценивалась принципиальная возможность обработки поверхности алмазного композита с целью полировки и формирования контуров требуемой геометрии на основе технологии лазерной обработки. Экспериментальные образцы представляли собой диски из поликристаллического алмазного композита диаметром 10 мм и толщиной 2 мм, спеченные на поверхности карбида вольфрама. В ходе экспериментальных исследований осуществлялось варьирование режимов лазерной обработки с изменением мощности, скорости, частоты, длительности импульсного лазерного воздействия и контролем шероховатости на измерительной станции Hommel tester T8000 до и после обработки. При профилировании поверхности оценивалось качество и глубина рельефной структуры. Исследование процессов модификации поверхности оценивалось с применением сканирующего электронного микроскопа Mira Feg Sem 3.

В результате исследований показана принципиальная возможность лазерной обработки алмазного композита. Выявлены режимы лазерной обработки, изменяющие шероховатость поверхности, которые могут использоваться для финишной обработки (полировки) композиционного материала. Экспериментально получена конфигурация профиля на поверхности композита и проведены трибологические испытания.

Список литературы

Красный В.А., Халимоненко А.Д. Новые конструктивные материалы: Учебно-методический комплекс / Санкт-Петербургский горный университет. СПб, 2016, 121 с.

Демидов А.Н., Ландау Б.Е., Цветков В.Н. Гирокамера электростатического гироскопа // Патент на изобретение № 2193159. 2002.

Юльметова О.С., Щербак А.Г., Челпанов И.Б. / Под ред. Валетова В.А. Специальные технологии изго-

товления прецизионных узлов и элементов гироскопических приборов. Учебное пособие – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 131 с.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОЗОЛЯ В УСТРОЙСТВАХ ВОЗДУХООТВОДА

System of automatic measurement of aerosol concentration in the exhaust air devices

Т.Г. Арутюнян, М.А. Кононов

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва

Т.Г. Арутюнян – студент кафедры «Приборы и информационно-измерительные системы»,
научный руководитель – доцент М.А. Кононов

Рассматривается создание прибора для измерения предельно допустимых концентраций аэрозольных частиц в медицинских учреждениях.

Что такое чистое помещение?

Чистое помещение может быть определено как замкнутое гигиеническое пространство, в котором концентрация частиц загрязняющих веществ может удерживаться в приемлемых границах в соответствии с требованиями стандартов производства продуктов и услуг высокого качества.

С середины XX века чистые производственные помещения стали неотъемлемой частью технологического прогресса. В настоящее время основные области применения чистых помещений – фармацевтика, медицина и микроэлектроника. В этих отраслях чаще всего используются комплексы чистых помещений, которые состоят из чистых зон и комнат, образованных с помощью систем воздухоподготовки и ограждающих конструкций.

К настоящему времени известны и нашли широкое применение в практике различные методы измерения концентрации аэрозоля. Это свидетельствует как об актуальности данной задачи, так и о её сложности. Каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки. Выбор метода зависит от конкретных условий измерений и постановки задачи.

Рассмотрев преимущества и недостатки методов, для решения этой задачи обоснована перспектив-

ность оптического метода измерений, основанного на ослаблении светового потока за счет рассеяния. Т.к. отвечает требованиям портативности и универсальности, предъявляемым к разрабатываемому прибору.

Разработана блок-схема измерителя массовой концентрации аэрозоля по ослаблению потока излучения, оптическая схема прибора.

Следующим этапом работы будет разработка интерфейсного электронного блока, чтобы внедрять в информационную среду потребителя.

Список литературы

1. Зельманович И.Л., Шифрин К.С. «Таблицы по светорассеянию. Часть III: коэффициенты экстинкции, рассеяния и светового давления». – Л.: Гидрометиздат, 1968.
2. Ишанин Г.Г., Панков Э.Д., Андреев А.Д., Польщико Г.В. «Источники и приемники излучения», - СПб.: Политехника, 1991 г
3. Якушенков Ю.Г. «Теория и расчет оптико-электронных приборов». – М.: Машиностроение, 1989г.
4. Парвулюсов Ю.Б., Солдатов В.П., Якушенков Ю.Г. «Проектирование оптико-электронных приборов», - М.: Машиностроение, 1990 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ СПЕКТРАЛЬНОЙ СЕЛЕКЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Research of options for spectral selection of optical signals

М.А. Кононов, Н.В. Глебов

«МИРЭА – Российский технологический университет»

Н.В. Глебов – магистр каф. "Приборы и информационно-измерительные системы",
научный руководитель доцент М.А. Кононов

В данной статье рассматривается проблематика спектральной селекции оптических сигналов в пламенных фотометрах и способ решения данной задачи, как в пламенных фотометрах, так и в других оптических приборах.

Пламенные фотометры – предназначены для выполнения массовых анализов по определению содержания натрия, калия, лития, кальция, бария, цезия, рубидия и стронция в жидких средах. Области применения: пищевая промышленность, медицина и фармацевтика, производство химикатов, нефтяная промышленность, анализ почвы и воды, производство удобрений. Принцип работы пламенных фотометров основывается на свойстве щелочных и щелочноземельных металлов диссоциировать на атомы при высокой температуре. Часть атомов металлов при этом переходит на более высокие возбужденные энергетические уровни, а обратные переходы на основной уровень сопровождаются излучением характерных для данного элемента атомных линий в видимой области спектра. В определенном диапазоне концентрации интенсивность излучения пропорциональна числу атомов, переходящих на основной уровень. В свою очередь, число возбужденных атомов пропорционально массе вещества, введенного в пламя, то есть интенсивность излучения пропорциональна содержанию определяемого элемента в пробе. [1].

Характеристические линии излучения выделяются светофильтрами, после чего свет поступает на детектор. Детектор преобразует видимое излучение в электрический сигнал, который усиливается электронной схемой и выводится на аналоговый выход, а также преобразуется и в цифровом виде выводится непосредственно на дисплей прибора. В роли диспергирующего элемента выступают параболическое зеркало, отклоняющее пучок света, и светофильтры, выделяющие необходимые характеристические линии химических элементов. В перспективе решением проблемы спектральной селекции оптических сигналов в пламенных фотометрах и других приборах может быть внедрение акустооптических фильтров. Принцип работы, которых заключается в формировании так называемой решетки Брегга в оптически прозрачных анизотропных средах (чаще всего в кристаллах на основе парателлурита (TeO_2)), при пропускании через кристалл исследуемого пучка света и высокочастотного синусоидального сигнала. [2]. Акустическая волна создаёт в оптической среде структуру с периодически изменяющимся показателем преломления, играю-

щую роль дифракционной решётки. При входе падающего пучка в акустооптическую ячейку в результате его взаимодействия с фронтом высокочастотной волны возникает дифракция света на ультразвуке, приводящая к расщеплению падающего пучка на проходящий и дифрагированный. Характер взаимодействия зависит от соотношения диаметра пучка δ , длины световой волны λ и угла падения θ . [3].

Фильтры подобного класса работают в диапазоне длин волн от 380 до 3000 нм с разрешающей способностью от 0,4 до 10 нм, что охватывает необходимый диапазон длин волн для регистрации концентрации химических элементов. Как результат – огромный потенциал, который позволяет стать прибору частью сложной информационно-измерительной системы. Механическая настройка, управления оптикой сменяется электронной, что несет в себе простоту, перспективность. Необходимость смены положения зеркала в пламенных фотометрах фактически отпадает, так как идет решение задачи синтеза управляющего сигнала. Иными словами, с помощью регулировки частоты акустической волны, не на механическом уровне, а на электронном, можно достичь необходимой селекции. Преимущество акустооптических фильтров дает способность измерять пространственные, спектральные и поляризационные характеристики цели в реальном времени без движущихся частей только с помощью одного прибора, чего невозможно добиться, используя лишь традиционные диспергирующие элементы из-за соображений эргономики и практичности.

Внедрение акустооптических фильтров открывает колоссальные возможности не только в области пламенных фотометров, но и в сферах оптоволоконной промышленности, связи, замене и модернизации старой элементной базы таких приборов как монохроматоры, колориметры.

Список литературы

1. Полуэктов Н. С. Методы анализа по фотометрии пламени. – М.: Наука, 1967.
2. Мазур М. М., Шорин В. Н., Абрамов А. Ю., Магомедов З. А., Мазур И. Л. Спектрометр с двойным акустооптическим монохроматором // Оптика и спектроскопия. 1996. Т. 81, вып. 3. С. 521–523.
3. Магдич Л. Н., Молчанов В. Я. Акустооптические устройства и их применение. – М.: Сов. радио, 1978.

**РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ В РЕАКТОРЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ
ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ЛАКОВ**

**Development of a modular system of automatic control of a temperature profile
in the reactor during the production of electro-insulating varnishes**

А.И. Гуменник, М.А. Кононов

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва

А.И. Гуменник – магистр кафедры КБ-6 «Приборы и информационно-измерительные системы», научный руководитель к.т.н., доц. Кононов М.А.

Рассматриваются особенности разработки модульной системы автоматического контроля температурного профиля в реакторе при производстве электроизоляционных лаков.

Электроизоляционные материалы (ЭИМ) являются одним из ключевых компонентов в производстве электрических машин [1]. Электрические машины в современном мире занимают важное место во многих отраслях. Мировое потребление электроэнергии увеличивается быстрее, чем потребление других энергоносителей, а подавляющее количество электроэнергии сейчас вырабатывается при помощи турбогенераторов. На ряду с этим, ЭИМ применяются для заливки полостей кабельных муфт, защиты металлических деталей от коррозии, изоляции листов электротехнической стали в магнитопроводах и т.д.

Очевидно, что хорошее качество ЭИМ является одним из ключевых факторов, влияющим на надежность устройств, при производстве которых они применяются. Решением этой задачи занимаются производства, выпускающие на своих мощностях ЭИМ. При анализе процесса производства на одном из таких предприятий было выявлено, что имеется недостаточный контроль температуры – важнейшего параметра. В следствие этого недостаточно представлена информация о распределении температуры изоляционного материала в баке реактора – замер температуры производится лишь в одной точке. Такой подход полностью исключает возможность иметь объективную информацию о средней температуре всего продукта в процессе его длительного производства. Локальная температура одной точки не может быть эквивалентом распределенного профиля температуры по объему реактора. Кроме этого не ясно, как именно распределено температурное поле по всему объему синтезируемого вещества, а это важно для обеспечения контроля и гибкого управления технологическим процессом [2]. Настоящая работа посвящена решению данной проблемы.

Для решения поставленной задачи необходимо разработать модульную систему измерения, конфигурация которой может быть легко изменена без сложных схемотехнических и технологических модификаций.

Исходя из этого, была предложена погружная система, состоящая из отдельных звеньев двух разных длин. Они представляет собой полые трубки. Одна содержит в себе датчик температуры, а другая выступает в роли "проставки" для регулирования длины. Это позволит регулировать ее размер в зависимости от требуемой глубины погружения, а также позволит изменять количество точек измерения температуры.

Была произведена разработка электронного блока одиночного измерителя температуры. Его конструкция позволяет менять общее применяемое количество измерителей без необходимости изменения схемотехники устройства. Модуль включает в свой состав 24-разрядный аналого-цифровой преобразователь на базе сигма-дельта-модулятора, для преобразования сигнала термометра сопротивления (ТС), стабилизированный источник тока для возбуждения ТС, микроконтроллер для обработки данных и буфер интерфейса RS-485. Группа таких модулей объединяется в единую измерительную сеть RS-485 для совместной работы, создавая тем самым модульную распределенную систему автоматического контроля температурного профиля в реакторе.

Список литературы

- 1. Евтушенко Ю.М., Г.А. Крушевский., Лебедев В.И., Огоньков В.Г. и др. Электроизоляционные материалы и системы изоляции для электрических машин - М.: Издательский дом МЭИ, 2018. - 272 с.*
- 2. Гуменник А.И., Кононов М.А. Система нижнего уровня автоматизации в производстве электроизоляционных материалов // Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации: сборник трудов XXVII Междунар. научно-технич. конф.– Алушта, 2018. – С. 61.*

СТЕНД НА БАЗЕ МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ОС ANDROID ДЛЯ АНАЛИЗА ИЗМЕРЕНИЙ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ И ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ НАВИГАЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ

А.А. Ермолаев, Г.В. Смыков, А.Н. Пронькин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

А.А. Ермолаев, Г.В. Смыков – студент каф. «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации», научный руководитель старший преподаватель А.Н. Пронькин

В работе рассматривается возможность создания программно-алгоритмического стенда, построенного на базе мобильного устройства. Разрабатываемый стенд предназначен для изучения свойств алгоритмов ориентации и навигации летательного аппарата (ЛА) и их анализа. В докладе представлены методы исследования навигационных алгоритмов и результаты работы стенда.

Одной из особенностей современного общества является внедрение робототехнических устройств и систем в различные сферы жизнедеятельности. Как правило, для функционирования таких объектов необходимо знать информацию о параметрах ориентации и навигации самого объекта относительно окружающего пространства. В настоящее время, в качестве первичных измерителей для решения задач ориентации и навигации, активно используются датчики на основе МЭМС технологии. Использование таких датчиков оправдано в тех случаях, когда к точности определения навигационных параметров не предъявляются высокие требования. Отличительными особенностями микромеханических датчиков являются миниатюризация габаритных размеров, небольшое напряжение питания и относительно низкая стоимость. Благодаря совокупности этих характеристик, микромеханические датчики нашли применение в самом широком спектре устройств, в частности, такие системы используются в мобильных устройствах в виде различных датчиков (гироскопы, акселерометры, датчики магнитного поля и т.д.), что в свою очередь позволило реализовать на базе мобильного устройства навигационные устройства для решения различных задач. Наряду с этим, актуальной задачей является подготовка специалистов обладающими знаниями и навыками работы с микромеханическими датчиками, обладающих умением обрабатывать полученные данные и строить различные навигационные алгоритмы на основе полученных измерений.

В рамках работы была предложена методика для анализа измерений от микромеханических датчи-

ков и изучения свойств навигационных алгоритмов. Разработана структура стенда, в состав которой входит персональный компьютер (ПК), мобильное устройство (смартфон под управлением ОС Android), беспроводная линия передачи данных (Wi-Fi), а также разработанное программное обеспечение (ПО) [1].

Мобильное устройство осуществляет сбор и последующую передачу данных в режиме реального времени на ПК посредством сети Wi-Fi или производит запись информации на SD карту с последующей обработкой данных на ПК в программной среде Matlab [2]. Методика работы со стендом реализована таким образом, чтобы в процессе обучения студенты имели возможность самостоятельно строить навигационные алгоритмы по поступающим измерениям в реальном режиме времени [3]. В докладе приводится методика анализа измерений микромеханических датчиков, структура ПО стенда, а также графические результаты и анализ результатов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования и науки РФ (Задание №8.2118.2017/4.6 на выполнение НИР в рамках проектной части госзадания в сфере научной деятельности).

Список литературы

Android Developers / Официальный сайт разработчика на платформе Android: https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_overview

Пустыльник Е.И. «Статистические методы анализа и обработки наблюдений». М.: Наука, 1968. – 289 с.

Гироскопические системы. Проектирование гироскопических систем / Под ред. Д. С. Пельпора. В 3-х ч. М.: Высш. шк., 1977. Ч. 1: Системы ориентации и навигации; Ч. 2: Гироскопические стабилизаторы; Ч. 3: Элементы гироскопических приборов

СИСТЕМА С ЛИНЕЙНО-КВАДРАТИЧНЫМ ГАУССОВСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ ПРИ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА

System with linear-quadratic gaussian control with variation of parameters of the object

А.А. Абакумов, Д.Н. Анисимов

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва

А.А. Абакумов – соискатель, научный руководитель – доцент Д.Н. Анисимов

Приводится исследование влияния точности определения параметров объекта на качество линейно-квадратичного гауссовского управления.

В настоящее время одним из способов улучшения динамических характеристик сложных систем является синтез регулятора, основанного на методе линейно-квадратичного гауссовского управления (ЛКГ-регулятора). Регулятор состоит из наблюдателя состояний (фильтра Калмана) и регулятора состояний (матрица весовых коэффициентов).

Сущность данного метода заключается в необходимости найти такой закон управления, который должен минимизировать критерий оптимальности для имеющейся модели пространства состояний системы. Данный закон находится через решения уравнения Риккати.

В результате данного синтеза, устраняется влияние резонансных явлений и расширяется рабочий диапазон частот, так же улучшается временная характеристика объекта.

Данный регулятор предназначен для удержания выходов системы вблизи заданного значения. При этом предполагается, что на объект управления воздействуют случайное возмущение и управление, а регулятор формирует управление на основе поступающих на его вход изменений, возмущённых случайными помехами. Но данный метод регулирования имеет низкую робастность, что даёт ухудшение динамических свойств объекта при отклонении параметров системы от значений, используемых в момент синтеза АКОР [Л].

В процессе исследований синтеза АКОР на колебательном звене было выявлено, что с увеличением величины отклонения значения параметра от его номинального значения увеличивается время переходного процесса, коэффициент резонансной частоты и величина перерегулирования системы и уменьшается ширина диапазона рабочих частот. С целью выявления зависимости изменения параметров качества регулирования от точности параметров объекта, используемых при синтезе ЛКГ-регулятора, был проведён анализ системы при разных значениях ошибки его параметров.

Проанализировав результаты исследований можно сделать вывод, что показатели качества системы с линейно-квадратичным гауссовым управлением зависят от точности определения параметров объекта. Эта точность, в свою очередь, обусловлена условиями проведения идентификационного эксперимента. Поэтому в качестве дальнейшего развития работы предполагается совместное решение задач параметрической идентификации объекта и синтеза системы управления.

Список литературы

Абакумов А.А., Анисимов Д.Н. Оценка влияния не точно заданных параметров объекта на качество линейно-квадратичного гауссовского управления. // Проблемы автоматизации и управления в технических системах – 2019: сб.ст. Междунар. науч.-техн. конф. (г. Пенза, 22-23 мая 2019г.) / под ред. д.т.н., проф. М.А. Щербакова. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2019. – 283 с.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРИЗНАКОВ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ НЕМИНИМАЛЬНО-ФАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ

Stats signs formalization of nonminimum-phase objects in frequency area for diagnostic

Ю.С. Александрова, Д.А. Баларев, О.С. Колосов, В.А. Короленкова, О.Д. Титова

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

В.А. Короленкова – аспирантка, Ю.С. Александрова – студентка каф. управления и информатики, научный руководитель профессор О.С. Колосов

О.Д. Титова – аспирантка каф. управления и информатики,

научный руководитель доцент Д.Н. Анисимов

Предлагается процедура преобразования годографов неминимально-фазовых объектов, которая упрощает выделение отдельных участков амплитудно-

частотной характеристики объекта, учитывающих характерные фазовые особенности объекта и позволяющая формализовать оценки таких особенностей.

Практика построения систем принятия решений и систем диагностики текущего состояния функционирующих сложных динамических объектов в зависимости от различных условий использует разнообразные подходы при реализации поставленных задач (статистические методы, методы мягких вычислений, нейронные сети и т.д.) [1]. При этом во всех случаях успех решения целиком зависит от взаимной корреляции совокупности информативных признаков, используемых для обучения систем. Поиск таких информативных признаков особенно актуален при обработке тестовых временных зависимостей [2], для которых чаще всего используются частотные формы преобразования, позволяющие работать со спектрами. Однако, как показывает практика [3], формализованные признаки, получаемые при обработке спектров сигналов отклика неминимально-фазовых объектов в значительной части оказываются малоинформативными при решении задач классификации. В первую очередь это относится к объектам с запаздыванием, а также к такому биологическому объекту как сетчатка глаза. В отличие от большинства динамических объектов, для которых достаточно информативными оказываются амплитудно-частотные характеристики (АЧХ), получаемые в результате обработки спектров тестирующих сигналов и сигналов отклика объекта, неминимально-фазовые объекты требуют учета фазо-частотных характеристик (ФЧХ). Одновременное использование этих двух характеристик успешно проводится при оценке устойчивости замкнутых систем с помощью их годографа в разомкнутом состоянии. Однако использование годографов в задачах классификации не известно.

В докладе на примере такого сложного биологического объекта как сетчатка глаза рассматривается один из возможных подходов, позволяющий учитывать ФЧХ объекта при отыскании информативных признаков для целей диагностики. Сетчатка глаза меняет свои частотные свойства в зависимости от режиматестирования. Соответственно меняется вид ее годографа и расположение характерных точек на нем. Сложность работы с годографом заключается в том, что он представляет собой на комплексной плоскости функцию двух переменных, каждая из которых зависит от частоты. Для упрощения поиска характерных закономерностей при изменении годографов предлагается проводить взаимный анализ АЧХ объекта и графика скаляр-

ных произведений значений действительной и мнимой частей годографа в зависимости от частоты. На последнем графике отчетливо просматриваются диапазоны частот нахождения анализируемого годографа в соответствующих квадрантах на комплексной плоскости. Абсолютные значения величин на этом графике позволяют судить об отличии рассматриваемого участка годографа от годографа «чистого» запаздывания. Все это позволяет найти такие номера гармоник или области АЧХ, для которых возможно проведение дополнительных преобразований графика АЧХ (например, интегрирование) с целью получения конкретных цифровых оценок в качестве искомого признака. Доклад сопровождается конкретными цифровыми примерами, иллюстрирующими предлагаемый подход.

Доклад подготовлен при финансовой поддержке РФФИ (проект 19-01-00143а)

Список литературы.

1. Анисимов Д.Н., Еремеев А.П., Колосов О.С., Цапченко И.В., Зуева М.В. *Применение методов искусственного интеллекта при построении систем диагностики глазных заболеваний. // Современные технологии в задачах управления, автоматике и обработки информации. Пленарный доклад. Труды XXIV Междунаро. науч.-техн. конф. (14 – 20 сентября 2015 г. Алушта). – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – С. 24-29.*
2. Колосов О.С., Пронин А.Д. *Особенности идентификации динамических объектов импульсными тестирующими воздействиями. // Вестник МЭИ.- 2018. - №3.- С.116 – 125.*
3. Колосов О.С., Короленкова В.А., Пронин А.Д., Зуева М.В., Цапченко И.В. *Построение амплитудно-частотных характеристик сетчатки глаза и формализация их параметров для использования в системах диагностики // Мехатроника, автоматизация, управление. _ 2018 – Т19, №7. – С 451 – 457.*
4. Titova, O[lga]; Anisimov, D[mitry] & Kolosov, O[leg] (2018). *Determination of the Current State of Human Retina Using Algorithms of Classification, Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium, pp.1209-1215, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-20-4, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria DOI: 10.2507/29th.daaam.proceedings.175.*

КАЛИБРОВКА МАГНИТОМЕТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Magnetometer calibration using genetic algorithms

Е.Л. Чехов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»

Е.Л. Чехов – инженер кафедры 305 «Автоматизированные комплексы систем ориентации
и навигации», научный руководитель доцент каф.305 к.т.н. Д.А. Антонов

В работе представлена алгоритмическая структура программного обеспечения и методика калибровки микромеханического магнитометра MPU9250 в составе резервной навигационной системы автономного необитаемого подводного аппарата. Приводятся результаты сравнения работы алгоритмов на основе рекуррентного метода наименьших квадратов и генетических алгоритмов. Дается оценка целесообразности применения предложенных алгоритмов на практике, а также преимущества и недостатки такого подхода.

В ходе выполнения опытно-конструкторских работ по созданию малогабаритной комплексной навигационной системы (МКНС) автономного необитаемого подводного аппарата среднего класса [1] для калибровки микромеханического магнитометра в составе МКНС был использован рекуррентный метод наименьших квадратов (РМНК). В ходе предварительных испытаний выяснилось, что место установки МКНС на аппарате значительно влияет на погрешности магнитометра. В некоторых случаях ошибки вызванные местом установки превосходили инструментальные погрешности датчика в несколько раз. При этом наблюдалось значительное снижение скорости сходимости РМНК, что требовало от потребителя повторения цикла калибровки и специального ввода начальных условий. В качестве возможного решения данной проблемы было предложено использование генетических алгоритмов [2] для параметризации модели погрешностей датчика.

В начале калибровки центральным вычислителем МКНС на интервале 60-ти секунд записываются показания магнитометра с частотой 10 Гц. Записанные данные подаются на блок оценки параметров модели, где с использованием генетических алгоритмов происходит поиск решений, которые имеют наибольшее соответствие выбранному критерию качества. Для улучшения времени сходимости

алгоритма и снижения вычислительной трудоемкости на каждом такте работы алгоритма вместо всей выборки используется подвыборка формируемая случайным образом.

Для оценки работоспособности синтезированных алгоритмов было произведено имитационное моделирование полученных алгоритмов и их сравнение с существующим алгоритмом РМНК. При этом оценивалась скорость сходимости и конечная точность оценки параметров модели погрешностей магнитометра.

В работе представлена алгоритмическая структура программного обеспечения и методика калибровки микромеханического магнитометра MPU9250 в составе МКНС. Приводятся результаты сравнения работы алгоритмов на основе рекуррентного метода наименьших квадратов и генетических алгоритмов. Дается оценка целесообразности применения предложенных алгоритмов на практике, а также преимущества и недостатки такого подхода. Представленные алгоритмы реализованы на языке Си стандарта С99 и оптимизированы для исполнения на интегрированных и встраиваемых системах поддерживающих вычисления с плавающей точкой.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ 19-08-01223-а.

Список литературы

- Амирагов А.С., Антонов Д.А., Колганов Л.А., Чехов Е.Л., Шавырин И.А. «Повышение эффективности подводных работ, приводимых с помощью автономных необитаемых подводных аппаратов с интегрированными навигационными комплексами» Москва, Новости навигации, 2018г.;*
Marek Obitko Introduction to genetic algorithms. 1998. URL:
<https://www.obitko.com/tutorials/genetic-algorithms/>
(дата обращения: 01.07.2019).

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВВЕДЕНИИ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ В ЗАКОН УПРАВЛЕНИЯ

The research of the dynamic system with the insertion of nonlinearities to the control law

Д.Н. Анисимов, А.А. Березина, С.М. Грязнов

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

А.А. Березина, С.М. Грязнов – студенты каф. управления и информатики,
научный руководитель доцент Д.Н. Анисимов

В работе проводится исследование переходных процессов в системе управления при введении нелинейных элементов в структуру ПД-регулятора. Рассматриваются два вида нелинейностей: насыщение и ломаная линия. Полученные результаты позволяют делать суждения об изменении показателей качества системы в зависимости от вида нелинейностей и их местоположения в ее структуре.

Рассматривается объект управления второго порядка с передаточной функцией

$$W_o(s) = \frac{K_o}{s(1+sT_o)},$$

передаточная функция ПД-регулятора

$$W_p(s) = K_n + K_d s = K_p (1 + sT_p).$$

Нелинейный элемент может находиться на одном из четырех участков структурной схемы: до или после пропорционального звена, до или после дифференцирующего звена.

Уравнения, описывающие нелинейную характеристику типа «насыщение», имеют вид [1]:

$$h(\xi) = \begin{cases} -\xi_1 & \text{при } \xi < -\xi_1 \\ \xi & \text{при } -\xi_1 \leq \xi \leq \xi_1 \\ \xi_1 & \text{при } \xi > \xi_1 \end{cases}.$$

Исследования показали, что при настройках ПД-регулятора, обеспечивающих аperiodичность переходного процесса и малое время регулирования, включение нелинейности типа «насыщение» на любом участке структурной схемы ухудшает показатели качества системы управления: во всех случаях увеличивается время регулирования, а в некоторых случаях появляется перерегулирование. В то же время при настройках ПД-регулятора, далеких от оптимальных, когда процесс на выходе системы является колебательным, включение нелинейности типа «насыщение» в любую точку структурной схемы в большей или меньшей степени снижает амплитуду колебаний, практически не изменяя

время регулирования. Этот факт свидетельствует о возможности стабилизации систем управления путем введения нелинейностей в тех случаях, когда дифференцирующих свойств ПД-регулятора оказывается недостаточно (это актуально для систем 3-го и более высоких порядков).

Нелинейная характеристика типа «ломаная линия» описывается уравнениями

$$h(\xi) = \begin{cases} \xi + (1 - k_1)\xi_1 & \text{при } \xi < -\xi_1 \\ k_1\xi & \text{при } -\xi_1 \leq \xi \leq \xi_1 \\ \xi + (k_1 - 1)\xi_1 & \text{при } \xi > \xi_1 \end{cases}.$$

Смысл введения этой нелинейности заключается в исследовании возможности улучшения качества управления за счет изменения коэффициента усиления в различных каналах управления вблизи начала координат. Из всех рассмотренных случаев можно выделить один, при котором введение нелинейности существенно улучшает показатели качества системы – это случай, когда перед дифференцирующим звеном включается звено с ломаной статической характеристикой, причем коэффициент усиления k_1 вблизи начала координат должен быть больше 1.

Полученные результаты могут быть использованы при настройке нечетких регуляторов для управления динамическими объектами [2].

Доклад подготовлен при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-01-00143а).

Список литературы

Теория автоматического управления. Ч. II / Под ред. А.В. Нетушила. Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1972.

Анисимов Д.Н., Май Тхе Ань. Динамические свойства нечетких систем управления, построенных на основе реляционных моделей // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2017. – Т. 18. – № 5. – С. 298-307.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОИСКА В ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЕ

Designing and research of algorithms of spatial search in double-circuit system

В.М. Беседин, Н.М. Хайбулаева

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

*Н.М. Хайбулаева – магистрант каф. управления и информатики,
научный руководитель профессор В.М. Беседин*

Рассматривается разработка алгоритмов одностороннего пространственного поиска в двухконтурной системе при вероятности ложной тревоги. Поиск осуществляется по трем стратегиям сканирования: оптимальный поиск (О), равномерный поиск (Р), оптимальный в классе равномерных (ОКР).

Одним из способов обеспечения высокой точности в поисковых системах является применение двухконтурных систем, где совмещается использование «грубого» и точного контуров [1, 2]. В качестве критерия эффективности поиска в докладе принимается полная вероятность обнаружения, которая определяется вероятностью обнаружения на первом и втором этапах.

Стратегия поиска как способ просмотра зоны неопределенности местоположения объекта в теории поиска – это правило, устанавливающее в каких ячейках должен производиться поиск. Одной из стратегий поиска является равномерный поиск (Р), где на каждую ячейку области тратится одинаковое количество поисковых усилий. Поиск оптимальный в классе равномерных (ОКР) аналогичен равномерному, но возможен просмотр только ее части, а также оптимальный поиск (О), при котором определяются значения поисковых усилий, которые максимизируют полную вероятность обнаружения. В результате влияния на систему внутренних и внешних помех, появляется дополнительная со-

ставляющая, как вероятность ложной тревоги, которая представляет собой вероятность обнаружения объекта в области поиска, при условии, что его там нет. На примере одностороннего поиска в двухконтурной системе при наличии ложной тревоги были реализованы алгоритмы: Р – Р, ОКР – ОКР, О – О. Для решения рассматриваемых задач оптимизации в работе предлагается использовать метод Эрроу-Гурвица [3].

Разработанные алгоритмы поиска реализованы на языке Python. Приведенный в работе анализ полученных результатов - полной вероятности обнаружения в зависимости от суммарного объема поисковых усилий для стратегий: (Р), (ОКР) и (О), продемонстрировали эффективность оптимального поиска среди других стратегий при работе двухконтурной системы.

Список литературы

- 1. Афонин А.А., Никитин В.Н., Никитин Н.В., Шацкий А.В., Чемоданов В.Б. Автоматические устройства и системы для наведения лазерных пучков. – М.: Физматлит, 2015. — 261 с.*
- 2. Чернявский Г.М., Чернов А.А. Лазерные системы в космосе (информационная технология). – М.: Радио и связь, 1995. – 224 с.*
- 3. Пантелеев А.В., Летова Т. А. Методы оптимизации в примерах и задачах: Учеб. пособие. – 3 – е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008.*

МЕТОДИКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ КАТУШКИ

The technique of preliminary evaluation of the parameters of the fiber-optic coil

М.А. Белоусов, В.А. Васиньков, Д.Ю. Зобачев, К.В. Коффер

ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания», г. Пермь

В работе рассмотрены критерии оценки чувствительного элемента волоконно-оптического гироскопа, позволяющие снизить количество инерциальных измерительных модулей, не соответствующих требуемым характеристикам.

В настоящее время применение бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС) и инерциальных измерительных блоков (ИИБ) являются перспективными направлениями в области военной техники и судоходства. С развитием данных отраслей к БИНС и ИИБ предъявляются все

более жесткие требования к тактико-техническим характеристикам изделий [1, 2].

Бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) производства ПАО «ПНППК» в основном базируются на волоконно-оптических гироскопах (ВОГ). Не редко бывает, что на этапе технологических операций, собранное изделие не соответствует, предъявляемым требованиям по точности. По статистике чаще всего это происходит из-за дефектов, связанных с волоконной катушкой

после выполнения всех операций по сборке БИНС. Для устранения данного дефекта производится замена волоконно-оптической катушки и повтор всех технологических операций, что ведет к дополнительным трудовременным затратам [3]. Для решения данной проблемы разработана методика дополнительной проверки параметров волоконно-оптической катушки при воздействии температуры перед её установкой в изделие.

Предложенная методика включает воздействие на волоконно-оптическую катушку (ВОК) температуры в соответствии с заданным температурным профилем, включающим участки с быстрым и медленным темпом нагрева.

Обработка показаний ВОГ выполняется с помощью обобщенного метода наименьших квадратов [4,5]. По результатам обработки производится контроль следующих параметров: соответствие реакции волоконно-оптической катушки на изменение температуры эффекту Шьюпа [6]; величины смещения нуля на участках, с установившейся температурой; значения коэффициентов ВОГ, определяемых на быстром и медленном темпах нагрева; предельные значения величины дрейфа ВОГ.

По предварительной оценке данная проверка позволит сократить процент брака по параметрам ВОГ в готовых изделиях.

Список литературы

А.И. Телига, В.Г. Сиренко, П.А. Осетров, А.П. Колеватов. *Маршрутно-навигационная система топопривязки и ориентирования подвижных объектов*

зенитных ракетных систем и комплексов. Научно-ёмкие технологии, 2011, № 12, стр. 21-26.

А.Г. Андреев, В.С. Ермаков, А.П. Колеватов, Т.А. Ульяновская, Д.Ю. Зобачев, А.С. Парфёнов, Е.А. Сафонов, И.В. Федоров. *Ударостойкая комбинированная бесплатформенная инерциальная навигационная система на основе волоконно-оптических и микромеханических гироскопов. Научно-технический центр «Информтехника» - филиал ФГУП «НИИСУ». Оборонная техника. № 11-12, 2015, стр. 12-18.*

А. П. Колеватов Т. А. Ульяновская. *Классификация дефектов теплового дрейфа волоконно-оптического гироскопа по результатам испытаний бесплатформенной инерциальной навигационной системы при изменении температуры // Сб. докл. XXVII конф. «Современные технологии в задачах управления, автоматике и обработки информации», 2018. С. 179-180.*

О. А. Степанов. *Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации Ч. 1. Введение в теорию оценивания. / Изд. 3-е, исправленное и дополненное, стр.142-143.*

Пугачев В. С. *Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. Пособие. – 2-е изд., исправл. и дополн. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002.– 496 с, стр. 280.*

Shupe D. M. *Thermally induced nonreciprocity in the fiber optic interferometer // Applied Optics. 1980. №9. P. 654-655.*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЗНОЙ ЧАСТИ СИГНАЛА УЛЬТРАЗВУКА КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ

Determination of the Ultrasonic Signal Effective Part as a Way to Improve the Liquid Flow Measurement Accuracy

С.И. Герасимов, И.Н. Желбаков

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

С.И. Герасимов – соискатель каф. информационно-измерительной техники,
науч. рук. проф. И.Н. Желбаков

В докладе рассматриваются вопросы применения корреляционной обработки сигналов как частного случая цифровой обработки ультразвуковых зондирующих сигналов на примере ультразвукового расходомера жидкости. Предложен алгоритм уменьшения погрешности определения расхода путем соответствующего выбора временного интервала («окно») регистрации сигналов для достижения корректных результатов при наличии ограничений корреляционного метода.

Ультразвуковые расходомеры (УЗР) [1], в особенности время-импульсные или время-разностные («Time of Flight» – «ToF») [1] функционируют по принципу определения разности времен распространения (РВР) ультразвуковых сигналов (УЗС) в движущемся потоке (ПТ) жидкости (ЖК). Другими словами, скорость ПТ ЖК (пропорциональна объ-

емному расходу), по сути, является функцией временного сдвига (ВС) [1] между УЗС, которые распространяются поперек напорного трубопровода под углом к его оси против направления ПТ и по ПТ соотв. Значение ВС вычисляется как РВР УЗС через ПТ поочередно [1].

В современных зарубежных приборах имеет место широкое использование цифровой обработки получаемых УЗС с выходов датчиков в электрическом эквиваленте и, в частности, корреляционной обработки (КО) УЗС [2]. Суть данного метода сводится к вычислению взаимной корреляционной функции (ВКФ) указанных УЗС [2], которая характеризуют неявную взаимосвязь между УЗС для определения ВС.

На погрешность вычисления ВС с помощью ВКФ влияют множество факторов. Основные из них были упомянуты в [3]. Однако, при сравнительно известном подходе, связанном с КО, многие зарубежные авторы [2] в своих работах не раскрывают некоторых важных особенностей. Фактически, речь идет об ограничениях этого метода, выдвигаемых требованиях и условиях для получения корректных результатов.

Повысить точность вычисления ВКФ могут помочь методы цифровой обработки сигналов. В частности, подобным алгоритмом в дополнение к КО может быть выделение полезной части сигнала (СГ) и выбор длительности СГ оптимальным образом. Суть предложенного метода заключается в выборе моментов начала и конца зарегистрированного СГ. Исходно при регистрации СГ с выхода приемного датчика, т.е. после получения дискретизированных значений СГ – отсчетов, набор указанных отсчетов в цифровой форме содержит дополнительные значения, не несущие никакой информации о принимаемом УЗС. По факту, это оказывается шум. Другими словами, регистрация принимаемого СГ начинается несколько раньше момента непосредственного его поступления на приемный датчик с некоторым запасом. Окончание СГ производится по достижении некоторого момента времени, определяемого расчетным путем с некоторым запасом в соответствии с определенным условием, например, по заданному числу периодов СГ.

В первом случае поможет уменьшение временного интервала от момента начала регистрации УЗС до момента его фактического поступления, т.е. возможно сместить вправо момент начала регистрации СГ, но вместе с этим уменьшится и запас по времени. Если регистрация СГ начнется позже его поступления на приемный датчик, то возможна потеря части полезной информации о СГ. Стоит упомянуть, что момент поступления СГ, как правило, определяется «по уровню», т.е. при достижении СГ

установленного порога по напряжению. В силу этого остается актуальным вопрос о выборе значения данного порога.

Во втором случае ситуация схожая – не имеет смысла производить регистрацию УЗС с большим запасом по времени, поскольку СГ имеет затухающий характер, соответственно амплитуда данного СГ также уменьшается и с течением времени становится сопоставимой с шумом. В силу отмеченного, логичным будет осуществить «обрезание» СГ. Однако, указанную операцию стоит выполнять принимая во внимание следующее условие – удаляемая часть СГ должна обладать малым действующим значением. Кроме того, есть предположение, что для минимизации дополнительных погрешностей имеет смысл обрывать СГ по пересечению нуля. Вместе с этим, отсекание СГ, когда его полезная часть еще не достигла окончания, также нецелесообразно. Это может привести к возникновению дополнительной погрешности вычисления ВКФ.

Список литературы

1. Кремлевский П.П. *Расходомеры и счетчики количества веществ: справ. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1989. – 701 с.*
2. Пат. US4787252 США, МКИ G01F 1/66. *Differential correlation analyzer [Текст] / S.A. Jacobson, L.C. Lynnworth, J.M. Korba; заявитель и патентообладатель – Panametrics Inc.; заявл. 30.09.1987; опубл. 29.11.1988. – 22 с.*
3. Герасимов С.И., Желбаков И.Н. *Повышение эффективности корреляционной обработки зондирующих сигналов ультразвукового жидкостного расходомера // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: Сб. тр. XXVII международной науч.-техн. конф., 14–20 сентября 2018 г., Алушта. – Тамбов: Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018, 280 с. – С. 184-185.*

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ

The motion control system of mobile platform

Л.С. Злыднева, В.Д. Демина, Р.Н. Исянов

Пензенский государственный университет «ПГУ»

Л.С. Злыднева, В.Д. Демина – студентки 2-го курса каф. «Автоматика и телемеханика»,
научный руководитель к.т.н., доцент Р.Н. Исянов

В данной работе представлена модель мобильной платформы и её системы управления движением. Мобильная платформа представляет собой самоходную машину с автоматическим управлением. Как правило, мобильная платформа выполняет одну единственную функцию – является носителем целевого оборудования. В зависимости от вида целевого оборудования, мобильная платформа может применяться в разных сферах человеческой дея-

тельности, вплоть до охраны важных объектов или проведения взрывотехнических работ.

Пусть мобильная платформа (МП) движется по плоской горизонтальной поверхности. При этом целью управления является обеспечение движения в неподвижную (в абсолютной системе координат) точку, направление движения на которую робот измеряет в собственной системе координат, ис-

пользуя имеющиеся на борту системы очувствления.

Соотношения кинематической модели представляют собой систему нелинейных дифференциальных уравнений 3-го порядка относительно фазового вектора с компонентами (x, y, φ) . Линейные скорости правого V_R и левого V_L колес являются управлениями и, заданные тем или иным образом (как функции времени или как функции фазовых координат), определяют движение мобильной платформы со скоростью V .

Уравнения движения МП с учетом динамических свойств, а также исполнительской системы. Будем считать, что исполнительная система МП представляет собой два электромеханических привода на базе двигателей постоянного тока, каждый из которых приводит в движение ведущие колеса правого и левого бортов шасси.

При этом угловые скорости правого и левого колес, угловая и линейная скорости робота связаны соотношениями (линейной скоростью робота называется в данном случае скорость начала связанной системы координат)

$$\begin{cases} \omega_R = \frac{1}{p} \left(V + \frac{\omega W}{2} \right); \\ \omega_L = \frac{1}{p} \left(V - \frac{\omega W}{2} \right). \end{cases} \quad (1)$$

Соотношения (1) представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений седьмого порядка с фазовым вектором $(x, y, V, \varphi, \omega, \tau_R, \tau_L)^T$ и вектором управления $(U_y^R, U_y^L)^T$.

Сделаем теперь следующие положения. Будем считать, что при движении МП на плоскости вдоль гладкой программной траектории управляющие моменты ведущих колес, развиваемые электродвигателями, изменяются незначительно (это допущение часто используют при исследовании электромеханических систем), т.е. $\dot{\tau}_L \square \dot{\tau}_R \square 0$. Это допу-

щение позволяет понизить порядок системы до пятого.

Полученные уравнения движения МП представляют собой систему нелинейных дифференциальных уравнений пятого порядка, что значительно осложняет задачу дальнейшего анализа системы и выбора необходимого коэффициента k для реализации алгоритма вычисления управляющего напряжения U_ω . Поэтому для выбора коэффициента k проведем линеаризацию уравнений движения с тем, чтобы можно было использовать классические методы анализа линейных стационарных систем.

Список литературы

- Айхлер Ю. Лазеры. Исполнение, управление, применение. [Текст] / Ю. Айхлер, Г.И. Айхлер. – М.: Технофера, 2012.
- Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления. [Текст] / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М.: Профессия, 2013.
- Зенкевич С.Л. Управление движением мобильного робота в неподвижную точку. [Текст] / С.Л. Зенкевич, П.В. Космачев. // «Мехатроника, автоматизация, управление». – 2010. № 3. 55-60 с.
- Калитеевский Н.И. Волновая оптика [Текст]: Учебное пособие для вузов. / Н.И. Калитеевский. – 4-е изд., Стереотип. – СПб.: Лань, 2006. – 465 с.
- Максимов Г.Т. Техничко-экономическое обоснование дипломных проектов [Текст]: Метод. пособие для студентов всех спец. БГУИР дневной и заочной форм обучения. В 4 ч. Ч.1. Научно-исследовательские проекты / Г.Т. Максимов. – Мн.: БГУИР, 2013. – 44 с.:ил.
- Никулин Е.А. Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза систем [Текст]: Учебное пособие.- СПб. БХВ-Петербург, 2012.

СТРУКТУРНЫЙ МЕТОД ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ В ПРЕЦИЗИОННЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМАХ

Structural method implementation to influence compensation of nonlinear elements in the precision electromechanical servo system

Т.С. Калашникова, С.А. Хризолитова

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Т.С. Калашникова – студентка каф. управления и информатики,
научный руководитель доцент С.А. Хризолитова

Исследуется структурный метод повышения качества основных характеристик электромеханических следящих системах. Показано, что помимо выигрыша в точности отработки управляющего воздействия, использование различных структур позволяет существенно повысить точностные характеристики систем управления в линейном и нелинейном управлении.

В связи с все возрастающими требованиями к качеству работы автоматических систем, в том числе и для электромеханических следящих систем, появляются различные современные методы управления. Среди них и так называемый структурный метод, основанный на комбинированном принципе управления с целью достижения инвариантности систем. Одним из признаков этих систем является,

контур управления, который строится из нескольких каналов [2, 3]. Остановимся на прецизионных многоканальных системах двух видов: итерационных и квазиитерационных.

Для итерационных систем характерно, что добротность системы в целом определяется как минимум произведением коэффициентов усиления каждого канала, а астатизм — их суммой [3]. Это обстоятельство значительно повышает точность и быстродействие итерационных систем.

Для квазиитерационных систем также характерно наличие n -каналов соединенных параллельно [2, 3]. Добротность этого класса следящих систем определяется суммой коэффициентов передачи n -каналов, а астатизм системы равен астатизму канала, обладающему наибольшей степенью астатизма [1]. Таким образом, квази-системы несколько уступают по точности итерационным, но сохраняя при этом преимущество перед одноканальными.

Следует отметить крайнюю необходимость проведения сравнительного анализа различных структурных построений в нелинейном представлении. В рамках данной работы исследования проводились на примере электромеханической следящей систем, содержащих два канала

Для проведения исследования нелинейных итерационной и квазиитерационной двухканальных систем использовался частотный метод гармонической линеаризации (метод Гольдфарба).

Нелинейный элемент с определенным коэффициентом гармонической линеаризации присутствует в

точном контуре. Известно, что в одноканальной устойчивой системе с «клювообразной» частотной характеристикой при наличии в ней нелинейности могут возникнуть автоколебания

В случае же использования квазидвухканальной структуры, эквивалентная передаточная характеристика линейной части относительно нелинейного элемента существенно упрощается (снижается порядок системы) и возникновение автоколебаний при наличии в системе, по крайней мере, однозначной нелинейности становится невозможным

Таким образом, применения структурного метода позволяет не только повысить точностные характеристики системы в линейном представлении, но и существенно улучшить точность систем при наличии нелинейных элементов

Список литературы

1. Цепков А.С., Хризолитова С.А. Сравнительная оценка двух схем построения следящей системы с двумя исполнительными устройствами. // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. — 1988, № 7.
2. Автоматические системы и устройства наведения лазерных пучков / Афонин А.А., Никитин Н.В., Чемоданов В.Б., Шацкий А.В. / Под ред. к.т.н. В.Б. Чемоданова. — М: ФИЗМАТЛИТ. 2016 — 260с.
3. Смагина И.А., Хризолитова С.А. Устойчивость прецизионных квазимногоканальных электромеханических следящих систем при наличии нелинейных элементов // Вестник МЭИ. — 2007. — №1.

О НЕКОТОРЫХ ПОДХОДАХ К УПРАВЛЕНИЮ ВЫСОТОЙ ПОЛЕТА МУЛЬТИРОТОРНОЙ ПЛАТФОРМОЙ С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ

About Some Approaches To The Flight Management Of A Multicopter Platform With A Hybrid Power Installation

К.Б. Гаврилин, И.С. Климов, Р.О. Шайкин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

К.Б. Гаврилин — студент каф. «Системы автоматического и интеллектуального управления»,
И.С. Климов — студент каф. «Системы автоматического и интеллектуального управления»,
Р.О. Шайкин — студент каф. «Системы автоматического и интеллектуального управления»,
научный руководитель старший научный сотрудник к.т.н. В.Б. Чемоданов

Целью данной работы является рассмотрение принципов управления высотой полёта, анализ возможных схем управления и выбор оптимальной схемы управления мультироторной платформой с гибридной силовой установкой.

Рассматривается задача управления высотой полета мультироторной платформой (МРП) с гибридной силовой установкой, построенной по схеме с разделенной нагрузкой [1]. Последняя предполагает использование четырех несущих винтов, создающих основную часть подъемной силы, и четырех управляющих винтов, служащих для управления

МРП по крену и тангажу. Таким образом, «разделенность нагрузки» предполагает использование классической quadrocopter системы управления в условиях, когда суммарная подъемная сила всех винтов существенно превышает располагаемую подъемную силу управляющих винтов.

Очевидное решение задачи управления высотой полета рассматриваемой МРП состоит в создании основными несущими винтами подъемной силы, равной 95 – 98% от веса аппарата на старте [2]. Однако это приводит к малой маневренности аппарата в части набора высоты, кроме того, по мере выработки топлива МРП может перейти в режим некон-

тролируемого набора высоты. Все это приводит к необходимости анализа особенностей управления высотой полета для ЛА данного класса и разработки соответствующих алгоритмов управления.

Для построения оптимальной системы управления разделим схему управления на два канала – «грубый» и «точный». В качестве «грубого» канала будем рассматривать канал управления силовыми винтами, а в качестве «точного» – управляющих винтов. Таким образом мы сможем построить высокоточную систему управления высотой аппарата. Можно выделить несколько характерных структурных схем для двухканальных систем подобного типа: с независимым управлением, с последовательным управлением (грубый канал разомкнут и замкнут), с параллельным управлением и с комбинированным управлением. Проведя анализ этих систем было выявлено, что наиболее подходящая под нашу задачу является схема с комбинированным управлением. Данная схема объединяет положительные качества двухканальных систем с независимым и последовательным управлением. В этой схеме нам достаточно использовать один датчик

рассогласования выходной координаты и входного воздействия.

Список литературы

Завольский И.Н., Климов И.С., Котельникова А.В., Рыбников С.И., Чемоданов В.Б. О некоторых подходах к построению гибридных мультироторных летающих платформ и управлению ими/ Вопросы инновационного развития аэрокосмического комплекса России. Материалы первой Общероссийской научно-практической конференции – М.: Издательство «Доброе слово», 2018 –С. 93. ISBN 978-5-89796-640-0

Климов И.С., Миронова М.А., Пименов Ю.М., Шайкин Р.О. Особенности управления мультироторной платформой с разделенной нагрузкой/ Сборник трудов 27 Международной научно-технической конференции «Современные технологии в задачах управления, автоматике обработки информации», 14-20 сентября 2018г., Алунта. Тамбов; Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018- С. 136. ISBN 978-5-8265-1922-6

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ МНОГОКАТОДНОЙ СИСТЕМЫ С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ СУММАРНОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ

Optimizing the placement of a multi-cathode system in order to minimize the overall non-uniformity of electroplating

Ю.В. Литовка, А.А. Банников

Тамбовский государственный технический университет, г.Тамбов

А.А. Банников – аспирант кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений», научный руководитель д-р техн. наук, проф. Ю.В. Литовка

Рассмотрена интеллектуальная система оптимального управления процессом нанесения гальванического покрытия с применением нескольких катодов различной формы и веса. Система управления решает задачу поиска оптимального расположения нескольких катодов различной формы и веса в гальванической ванне, для получения покрытий с минимальной неравномерностью.

Нанесение гальванических покрытий – один из наиболее распространенных способов придания покрываемой поверхности деталей специальных свойств. Качество гальванического покрытия очень сильно влияет на качество готовых изделий, их долговечность и эксплуатационные характеристики. Важнейшим показателем качества покрытия является равномерность распределения толщины наносимого металла по поверхности детали.

Детали небольшой площади обрабатываются совместно, т.к. нерентабельно обрабатывать по одной детали за один цикл работы гальванической ванны. Форма деталей может быть разная, и от того, как мы расположим их на подвесе, будет зависеть суммарная неравномерность получаемых покрытий.

Под расположением подразумеваются координаты каждой детали относительно выбранной базовой точки.

Задача получения покрытий с минимальной неравномерностью заключается в поиске оптимального расположения катодов на подвесе, при котором суммарная неравномерность получаемых покрытий будет минимальной. Для решения поставленной задачи используется математическая модель, включающая следующие уравнения:

$$R = \int_{S_j} \frac{\delta(x,y,z) - \delta^{\min}}{\delta^{\min}} dS_j;$$

$$\delta(x, y, z) = \frac{\partial}{\partial t} \int_0^T \eta(x, y, z, \tau) i_k(x, y, z, \tau) dt; \quad i_k(x, y, z) = - \chi \cdot \text{grad } \varphi(x, y, z) |_{S_j};$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial n} |_{S_u} = 0; \quad \varphi + F_1(i_a) |_{S_a} = U; \quad \varphi - F_2(i_k) |_{S_j} = 0; \quad j=1, 2, \dots, m,$$

где R - критерий неравномерности; S_a – площадь поверхности анода; δ(x,y,z) – толщина покрытия в точке катода с координатами (x,y,z); δ^{min} – минимальная толщина покрытия; Э – электрохимиче-

ский эквивалент металла покрытия; ρ – плотность металла покрытия; T – время нанесения покрытия; $\eta(x,y,z,t)$ – катодный выход по току; τ – текущее время; i_k, i_a – соответственно, катодная и анодная плотности тока; χ – электропроводность электролита; $\varphi(x,y,z)$ – потенциал электрического поля; S_{II} – площадь поверхности изолятора; n – нормаль к поверхности изолятора; U – напряжение в ванне; S_j – площадь поверхности j -го катода; m – количество катодов, $F_1(i_a)$ – функция анодной плотности тока, учитывающая поляризацию на аноде; $F_2(i_k)$ – функ-

ция катодной плотности тока, учитывающая поляризацию на катоде.

Самый простой способ решения рассматриваемой задачи – использование метода полного перебора, но при большой размерности задачи метод полного перебора приводит к очень длительным расчётам. В связи с этим более целесообразно применять более эффективный алгоритм, например метод Гомори. Интеллектуальная система решает задачу поиска оптимального расположения катодов в гальванической ванне, минимизирующего критерий оптимальности R .

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПО КОСВЕННОМУ ПАРАМЕТРУ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЯ

Automatic temperature control of vacuum electrical resistance furnaces -for indirect parameter of the heater resistivity

М.Я. Погребиский, А.С. Булгаков

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

А.С. Булгаков – аспирант кафедры «Электроснабжения промышленных предприятий и электротехнологий», научный руководитель доцент М.Я. Погребиский

Рассматривается построение системы автоматического регулирования температуры вакуумной электропечи сопротивления по косвенному параметру электрического сопротивления нагревателя с поправкой на износ нагревателя, рассчитываемой с использованием разработанной математической модели.

Современные электротехнологические установки, применяемые в высокотехнологичных отраслях промышленности и в научных исследованиях, предъявляют повышенные требования к точности и качеству автоматического регулирования температурного режима. Значительные трудности в осуществлении такого регулирования возникают в высокотемпературных (свыше 1800°C) вакуумных электрических печах сопротивления (ЭПС) из-за весьма низкой стойкости используемых датчиков температуры, прежде всего, термоэлектрических преобразователей (термопар), в этом температурном диапазоне [1].

Использование в качестве датчиков температуры пирометров излучения в вакуумных печах с экранной теплоизоляцией крайне затруднено отсутствием прямой видимости рабочего пространства.

Таким образом, прямое измерение температуры в высокотемпературных (свыше 1800°C) вакуумных ЭПС практически невозможно. Поэтому организация замкнутой системы регулирования температуры в таких печах возможно только при использовании принципа регулирования по косвенному параметру.

В качестве косвенного параметра регулирования возможно использовать удельное электрическое сопротивление материала нагревателя. Температу-

ра нагревателя в этом случае рассчитывается по известной функциональной зависимости удельного электрического сопротивления материала нагревателя ρ от температуры t . Необходимо иметь в виду, что прямое измерение удельного сопротивления также невозможно, можно получить лишь значение активного сопротивления, как отношение действующих значений активных составляющих тока и напряжения. Для перехода к удельному сопротивлению необходимо знать площадь сечения нагревателя, а она не остается неизменной в ходе эксплуатации (уменьшается из-за массоуноса материала нагревателя). Поэтому при определении температуры по удельному сопротивлению необходимо введение поправки на износ нагревателя, которая может быть рассчитана на основании математической модели процессов износа (массоуноса). Массоунос материала нагревателя при работе в вакууме связан с испарением материала и, в большей степени, с окислением остаточным кислородом в вакуумной камере с последующим испарением окислов. Интенсивность массоуноса зависит от температуры нагревателя, остаточного давления и наличия различных газообразных примесей в камере печи [2]. Разработанная математическая модель процессов износа учитывает эти факторы.

Необходимо иметь в виду, что лучшее качество регулирования температуры в печах сопротивления с теплообменом преимущественно излучением достигается при организации обратной связи не по температуре нагревателя, а по температуре внутренней поверхности камеры печи (в случае вакуумных печей с экранной теплоизоляцией – по темпе-

ратуре внутреннего экрана). Поэтому в предлагаемой системе регулирования производится пересчет определенной по косвенному параметру удельного электрического сопротивления температуры нагревателя в температуру внутреннего экрана на основе законов теплопередачи излучением. Также рассчитывается (для контроля) температура нагреваемого изделия.

Рассматриваемый способ регулирования температуры применим к печам, нагреватели которых изготавливаются из материала, имеющего выраженную монотонную зависимость удельного сопротивления от температуры (такими материалами являются, в частности, вольфрам, молибден и их сплавы). Такие печи используются в машиностроении, хими-

ческой технологии и ряде других отраслей для проведения процессов термической обработки, спекания, обжига, рафинирования и других, а также для исследования свойств материалов при высоких температурах.

Список литературы

Автоматическое управление электротермическими установками / А.М. Кручинин, К. М. Махмудов, Ю. М. Миронов, В.П. Рубцов, А.Д. Свенчанский; под ред. А. Д. Свенчанского. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 416 с.

Мармер Э.Н. Материалы для высокотемпературных вакуумных установок. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 152 с.

ПОЛИГАРМОНИЧЕСКАЯ ЛИНЕАРИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Polyharmonic linearization of nonlinearities in control systems

Т.В. Семенов, Н.А. Сержант, Л.А. Осипов

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*Н.А. Сержант – студентка кафедры информационно-сетевых технологий,
научный руководитель профессор Л.А. Осипов*

Рассматривается полигармоническая линеаризация нелинейных звеньев систем управления. Процессы на входах и выходах нелинейных звеньев представляются в виде ряда Фурье. Характеристики безынерционных, однозначных нелинейных звеньев аппроксимируются степенным рядом. Получены аналитические выражения, позволяющие определять амплитуды гармоник выходного сигнала нелинейного звена. Математическая модель нелинейного элемента представляется совокупностью комплексных коэффициентов передачи для отдельных гармоник нелинейного звена.

Задача синтеза является одной из основных задач в области создания современных нелинейных систем автоматического управления (САУ). При этом успешного решения этой задачи для САУ высокого порядка, содержащих несколько нелинейных элементов, по всему комплексу показателей качества и для всего многообразия систем не найдено. Поэтому предпринимаются довольно успешные попытки создания общих теоретических подходов по отдельным направлениям проблемы.

В работе рассматриваются вопросы, связанные с линеаризацией нелинейных элементов. В настоящий момент существуют различные приближенные методы линеаризации нелинейных элементов: гармоническая, полиномиальная, обобщенная.

В работе предлагается метод полигармонической линеаризации, применимый в равной мере, как к гармоническим, так и к монотонным и аperiodическим процессам.

При синтезе систем автоматического управления используются методы решения обратных задач динамики [1,2], в которых в качестве исходной ин-

формации используется программное движение выхода системы.

Нелинейная система управления представляется в виде модели, состоящей из линейных инерционных звеньев и безынерционных нелинейных звеньев; внешнее воздействие является регулярной функцией времени. Рассматриваются только однозначные нелинейные звенья. При этом характеристики этих звеньев аппроксимируются степенным рядом, что может быть известным способом выполнено, например, применением полиномов Чебышева.

Для линеаризации нелинейных звеньев и системы в целом необходимо знать процессы на входах и выходах нелинейных звеньев. По программному движению выхода системы определяются процессы на входах нелинейных звеньев.

В этом случае выход нелинейного звена может быть представлен в виде отрезка ряда Фурье, содержащего постоянную составляющую и множество гармоник. При расчетах целесообразно в различных координатах удерживать равное (или примерно равное) число гармоник, при этом все координаты линейны относительно множества гармоник, что объясняет название линеаризации.

Выход нелинейного звена также представляет собой комплексный ряд Фурье, комплексные амплитуды которого должны определяться с помощью интегрального преобразования Фурье [3]. Но вычислять комплексные амплитуды в замкнутом виде сложно, поэтому можно воспользоваться численным (с помощью ЭВМ) определением этих амплитуд.

При таком подходе нелинейное звено для некоторых элементов расчета замещается моделью в виде совокупности комплексных коэффициентов передачи для отдельных гармоник входа-выхода нелинейного звена. Комплексные коэффициенты определяют затухание (усиление) и сдвиг по фазе.

Достоинством метода полигармонической линеаризации нелинейных звеньев по сравнению с методом гармонической линеаризации [4] является возможность использования достаточно точной аппроксимации входных и выходных процессов звеньев, и в целом – линеаризации нелинейных звеньев, используемых при исследовании систем управления.

Использование данного метода позволяет существенно упростить расчеты, связанные с линеари-

зацией нелинейных звеньев, повысить точность линеаризации и, как следствие, точность синтеза блоков управления.

Список литературы

Анализ и оптимальный синтез на ЭВМ систем управления / под ред. А.А. Воронова и И.А. Орурка. М.: Наука. 1984. 344 с.

Алгоритмы динамического синтеза нелинейных автоматических систем / под ред. А.А. Воронова. СПб.: Энергоатомиздат. 1992. 336 с.

Харди, Г.Г., Rogozинский, В.В. Ряды Фурье / Г.Г. Харди, В.В. Rogozинский. М.: Либроком. 2009. 152 с.
Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. М.: Наука. 1966. 992 с.

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Analysis of the characteristics of fiber-optic sensors

Н.М. Парфёнов

Московский авиационный институт, (национальный исследовательский университет), МАИ

В работе рассмотрены основные характеристики волоконно-оптических датчиков (ВОД). Показано, что в создании оптических датчиков существенную роль играют конструкция, материалы и показатели преломления оптических волокон.

Волоконно-оптические датчики являются одним из перспективных направлений в области микроэлектроники и фотоники. Датчики физических величин создаются с помощью развитых технологий и позволяют измерять различные физические величины: давление, температуру, деформацию, ускорение, вибрацию, угловую скорость, линейное перемещение, электрическое поле, магнитное поле, электрический ток, звуковые волны.

Современные технологии наряду с традиционными кремневыми датчиками давления способствовали созданию волоконно-оптических датчиков тока и напряжения. Оптические датчики нашли применение в авиационно-космической и высокотехнологичной технике. Это связано с рядом их достоинств: высокая чувствительность, широкополосность (до нескольких десятков ГГц), малый диаметр, высокая коррозионная стойкость, способность работать в экстремальных условиях.

В данной работе были проведены исследования дефектов и механических напряжений, в следствие которых при передаче информации по волокну наблюдается потеря мощности излучения светового потока. Указанные дефекты можно наблюдать при изготовлении или при скручивании в процессе измерения магнитного поля, токов. В результате удалось несколько снизить потери мощности излучения. Несмотря на это мы продолжаем работы в этом направлении.

Из литературных источников [1-5] известно, что для передачи информации используются в основном два типа оптических волокон – это одномодовое и многомодовое. Причём, наряду с большим разнообразием используемых материалов более широкое применение получили кристаллические структуры. Наиболее перспективными являются активные кристаллические материалы $Bi_{12}SiO_{20}$ и $Bi_{12}GeO_{20}$.

В России успешно ведутся работы по совершенствованию и созданию различных оптических волокон, устройств, систем и компонентов. Однако отсутствие широкой номенклатуры ВОД, недостаточные темпы в области разработок являются сдерживающим фактором активного создания и внедрения ВОД. Недостаточная информация относительно их функциональных возможностей, надёжности, метрологических характеристик, экономических показателей, применение датчиков ставится, к сожалению, на задний план.

Несмотря на это потребность в ВОД в различных отраслях достаточно высока. Применение ВОД могут найти на предприятиях металлургической, химической промышленности, заводах судостроительной отрасли, медицины, автомобильного транспорта.

Список литературы

Гуляев Ю.В. и др. Волоконно-оптические технологии, устройства, датчики и системы. // Спецвыпуск. Фотон-экспресс.-наука. 2005, № 6. С. 114–127

Потапов. Т.В. Экспериментальное исследование температурной стабильности датчиков магнитного поля на основе кристаллов $Bi_{12}GeO_{20}$ // Письма в ЖТФ. 1998. № 11, том 24

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУПЕРЛЮМИНИСЦЕНТНОГО ВОЛОКОННОГО ИСТОЧНИКА НА ТОЧНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Investigation of the effect of the output characteristics of a superluminescent fiber source on the accuracy parameters of a fiber-optic gyroscope

Н.А. Трухова, М.А. Белоусов, М.В. Ременникова

ПАО Пермская научно-производственная приборостроительная компания,
г. Пермь

Исследовано влияния средневзвешенной длины волны суперлюминисцентного волоконного источника (СВИ) на масштабный коэффициент волоконно-оптического гироскопа (ВОГ). Выявлена зависимость величины масштабного коэффициента ВОГ от изменения величины средневзвешенной длины волны СВИ. На основе полученных результатов уточнены методики оценки выходных характеристик, получаемых при проверках СВИ перед установкой в бесплатформенную инерциальную навигационную систему (БИНС).

В настоящее время к бесплатформенным инерциальным навигационным системам (БИНС) на базе волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) предъявляются жесткие требования к тактико-техническим характеристикам. Одним из ключевых параметров, определяющих точность ВОГ, является масштабный коэффициент. Как подробно описано в литературе [1,2] основным параметром, влияющим на масштабный коэффициент ВОГ является средневзвешенная длина волны источника излучения. В качестве источника излучения в ВОГ навигационного класса точности используются суперлюминисцентные волоконные источники (СВИ). К недостаткам такого источника излучения можно отнести долговременную и температурную нестабильность его выходных параметров, в том числе средневзвешенная длина волны [3]. Для оценки влияния нестабильности средневзвешенной длины волны СВИ на выходные параметры ВОГ была проведена следующая исследовательская работа.

Произведен расчет влияния средневзвешенной длины волны на величину масштабного коэффициента ВОГ;

Изготовлена экспериментальная схема ВОГ, позволяющая изменять величину средневзвешенной длины волны СВИ оптическим путем без изменения остальных оптических параметров источника.

Проведены эксперименты по оценке влияния изменения средневзвешенной волны на величину масштабного коэффициента ВОГ.

Для исследования использовалось серийная БИНС имеющая дефект, выражающийся в трендовом характере изменения масштабного коэффициента ВОГ на установившейся температуре. Предположительной причиной такого дефекта является нестабильность средневзвешенной длины волны на выходе СВИ. Для подтверждения были проанализированы записи выходных характеристик СВИ в составе БИНС. В ходе экспериментов производился разрыв оптического волокна на участке между СВИ и волоконной катушкой, дает возможность получения выходных параметров СВИ непосредственно в составе БИНС.

По результатам проведенных исследований, подтверждена зависимость масштабного коэффициента ВОГ от величины средневзвешенной длины волны источника излучения. На основе полученных результатов уточнены методики оценки выходных характеристик, получаемых при проверках СВИ перед установкой в БИНС. Ожидается, что уточнение методик позволит снизить процент брака БИНС на этапе технологических проверок.

Список литературы

1. Кикилич Н.Е., Востриков Е.В., Алейник А.С. *Стабилизация параметров оптического излучения суперлюминисцентного волоконного источника для применения в волоконно-оптическом гироскопе: дис. Канд тех. наук. СПб : НИУ ИТМО, 2018. 138 с.*
2. Lefevre H. *The Fiber-Optic Gyroscope. - 2 ed. Norwood: Artech House Publishers, 2014. 440 с.*
3. Алейник А.С. *Исследование и повышение точностных параметров волоконно-оптических гироскопов: дис. канд. техн. наук. СПб: НИУ ИТМО, 2012. 137 с.*

Секция 4. НЕЙРОННЫЕ СЕТИ И УСТРОЙСТВА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

АЛГОРИТМЫ ФИЛЬТРАЦИИ НИЖНИХ И ВЕРХНИХ ЧАСТОТ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ

Real time algorithms for filters of low or high frequency in automatic control tasks

М.А. Бабочкин, О.С. Колосов, А.А. Кузнецова, О.И. Парфенова

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

*М.А. Бабочкин, А.А. Кузнецова – аспиранты каф. управления и информатики,
научный руководитель профессор Колосов О.С.*

*О.И. Парфенова – студентка каф. управления и информатики,
научный руководитель доцент Д.В. Вершинин*

Предлагаются к рассмотрению фильтры низких и высоких частот для реализации на современных управляющих контроллерах, базирующиеся на использовании ограниченного числа слагаемых интерполяционного полинома Ньютона и его производной. Дается сравнительный анализ свойств рассматриваемых фильтров с известными в частотной области и при использовании их в системах автоматического управления.

Современная управляющая аппаратура на базе микропроцессорных контроллеров обеспечивает достаточное быстродействие и качество работы систем, реализуя фактически непрерывный режим управления для большого числа относительно инерционных объектов, в том числе и объектов промышленной автоматике. В силу этого при реализации алгоритмов управления наблюдается возврат к хорошо отработанным методам синтеза алгоритмов управления непрерывными системами с использованием численных методов. Это позволяет уйти при реализации алгоритмов от операционных усилителей, пассивных RC-цепей и т.д., обладающих известными недостатками. Вместе с тем относительно большие интервалы дискретизации первых управляющих микропроцессоров существенно ослабляли высокочастотные помехи в сигнале управления по сравнению с непрерывными аналогами подобных устройств, но при одновременном усложнении самого алгоритма управления. В спектре гармоник управляющего сигнала в этом случае существенно ослабляются гармоники в окрестности частот кратных обратным значениям шага дискретизации [1]. Именно поэтому увеличение тактовой частоты современных контроллеров ослабляет этот положительный эффект.

В докладе вводятся в рассмотрение и обсуждаются алгоритмы фильтрации нижних и верхних частот, базирующиеся на ограниченном числе слагаемых интерполяционного полинома Ньютона и его производной. Находятся соотношения, связывающие параметры предлагаемых фильтров и их полосы пропускания, проводится сравнение их передаточ-

ных функций и на их основе частотных свойств со свойствами широко распространенных аналогичных фильтров (Бесселя (Гаусса), Чебышева, Баттерворта, эллиптических фильтров, фильтров с критическим затуханием и других). Эти фильтры реализуют как аналоговое преобразование сигналов, так и дискретное [2,3]. Однако, независимо от технического воплощения этих устройств, они предназначены для реализации либо фильтров низких частот (ФНЧ), либо фильтров высоких частот (ФВЧ), а также полосовых фильтров.

В докладе на примерах линейных и нелинейных астатических систем второго и третьего порядка показывается эффективность предлагаемых алгоритмов, реализуемых в составе ПД-регуляторов. Так, во всех сравниваемых вариантах для линейных систем при наличии аддитивной помехи в сигнале управления в виде равномерно распределенного белого шума (обычно это шум измерений) мощность шумовой составляющей в установившемся режиме оказывается меньше на 30-50% по сравнению с использованием известных фильтров. При этом в пропорциональном канале используется ФНЧ, а в канале дифференцирования – ФВЧ. Полосы пропускания предлагаемых фильтров и известных совпадают. Помимо этого предлагаемые фильтры, при определенном выборе параметров, обладают возможностью не пропускать (блокировать) определенные гармоники спектра сигнала управления. Например, плохо отфильтрованные первую и вторую гармоники несущей частоты.

В системах стабилизации, для которых задаются допуски на стабилизируемую величину, сигнал управления поступает на пороговое устройство, зона нечувствительности которого, в свою очередь, определяет допуск на стабилизируемый выходной параметр системы. Большое значение для таких систем имеет частота срабатывания регулирующей аппаратуры в стационарном режиме. В рассматриваемых конкретных примерах систем показываются преимущества предлагаемых фильтров по сравнению с известными. Программная реализация пред-

лагаемых алгоритмов также достаточно проста, так как использует алгебраические суммы нескольких предыдущих отсчетов и численное интегрирование.

Список литературы

1. Колосов О.С., Кошоева Б.Б., Морозов Р.Б. *Дополнительный настраиваемый параметр для ПИД-регулятора. (Дифференцирование с увеличенным шагом дискретизации)*. Изд-во «Palmarium Academic Publishing». 2016 г. 135 с.

2. Сорокин Г.А. *Фильтры нижних частот*. Вестник ЮрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника», 2015. Том 15, №1. С.100 – 107.

3. Кобениченко В.Г. *Расчет и проектирование цифровых фильтров: [учеб.-метод. пособие]*/ В.Г. Кобениченко. – Екатеринбург: Изд-во Урал унта. 2015.- 64 с.

КОНТРОЛЬ ДОСТОВЕРНОСТИ НЕЙРОСЕТОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

A control of neural network classification accuracy

А.О. Гурина, В.Л. Елисеев

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

А.О. Гурина – аспирантка каф. управления и информатики,
научный руководитель доцент В.Л. Елисеев

В работе исследуется задача оценки достоверности результатов многоклассовой нейросетевой классификации. Отмечается проблема негладкой аппроксимации выхода нейросети при классификации данных за пределами обучающей выборки, а также в некоторых частях обучающей выборки, что может приводить к неожиданным некорректным результатам работы классификатора. Предлагается подход по оценке принадлежности данных к области обучающей выборки с помощью нейросетевого автокодировщика. Проведены эксперименты, подтверждающие результативность предложенного подхода.

Применение нейросетевых классификаторов для решения некоторых прикладных задач требует высокой точности и достоверности классификации. В последние годы большой резонанс получили случаи ошибочных результатов классификации известного нейросети изображения при изменении в нем одного пиксела [1]. Поскольку сложный нейросетевой классификатор (часто – глубокая нейронная сеть) обучается по данным, предполагающим гладкое изменение значений в векторном пространстве, очевидно, что при искусственном внесении в данные даже точечного высокочастотного шума, не влияющего на распознавание объекта на изображении человеком, становятся возможными фатальные ошибки нейронных сетей при классификации.

При исследовании достоверности результатов нейросетевой классификации на общедоступном наборе данных была выявлена несостоятельность предобученного многоклассового классификатора при классификации данных, отличающихся от обучающего набора. Несостоятельность классификатора заключается в отнесении к предопределенному классу из обучающего набора образа, в действительности не принадлежащего ни к одному из них. Поскольку в реальных системах изменения в данных с течением времени или появление аномалий

не является редким явлением, возникает угроза возникновения ошибочных результатов классификации при излишнем доверии к принятым нейросетевым классификатором решениям.

Во избежание ошибок классификации предлагается подход для определения принадлежности классифицируемых данных к области обучающей выборки. Для этого параллельно с многоклассовым классификатором используется автокодировщик, обученный воспроизводить каждый образ обучающего набора с приемлемой точностью, которая определяется величиной порогового значения ошибки реконструкции (IRE_{th}). Пороговое значение выбирается как максимальное значение среди ошибок реконструкции (IRE) образов из обучающего набора. Малость величины мгновенной ошибки реконструкции означает близость текущего образа к элементам обучающей выборки, а значит, с большой долей вероятности многоклассовый классификатор классифицирует данный образ корректно. Превышение мгновенной ошибкой реконструкции установленного порогового значения говорит об обнаружении новизны в данных, которая может быть, как аномалией, так и сигналом о появлении нового класса в данных и необходимости дообучения нейросетевого многоклассового классификатора. В таком случае результат классификации, вероятно, будет ошибочным.

Предлагаемый способ оценки достоверности результатов нейросетевой многоклассовой классификации заключается в том, что классифицируемый образ подается одновременно на вход обученного с учителем многоклассового классификатора и обученного автокодировщика. При этом степень доверия к результату классификации образа, подаваемого на вход нейросетевого многоклассового классификатора, зависит от величины мгновенной ошибки реконструкции, с которой автокодировщик

восстанавливает поданный образ. В случае, если ошибка реконструкции для подаваемого на вход автокодировщика образа ниже или равна пороговому значению, степень доверия к результатам классификации этого образа максимальна и равна единице. Если ошибка реконструкции превышает пороговое значение, то степень доверия к результатам классификации уменьшается пропорционально степени превышения порогового значения. Степень доверия R к результатам нейросетевой классификации образа X может быть рассчитана по формуле:

$$R = \begin{cases} \frac{IRE_X}{IRE_{th}} \leq 1, & 1 \\ \frac{IRE_X}{IRE_{th}} > 1, & \frac{IRE_{th}}{IRE_X} \end{cases}$$

Экспериментально было показано, что информация о степени принадлежности данных к области обучающей выборки позволяет оценить достоверность результатов нейросетевой классификации.

Список литературы

1. Один пиксель превратит лошадь в корабль для нейросети. Индикатор. Интернет-издание. [В Интернете] <https://indicator.ru/news/2017/10/31/odin-piksel-nejroset/>.

ПРОБЛЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИСТЕМ С ПЕРЕКРЕСТНЫМИ СВЯЗЯМИ

The problem of identification of systems with cross-links

Д.Н. Анисимов, П.Д. Василькова

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

П.Д. Василькова – студентка каф. управления и информатики,
научный руководитель доцент Д.Н. Анисимов

Доклад посвящен дальнейшему развитию метода экспоненциальной модуляции, предназначенному для идентификации динамических объектов. Рассматривается возможность идентификации многомерных систем на примере системы с антисимметричными перекрестными обратными связями.

Метод экспоненциальной модуляции [1] изначально предназначался для идентификации линейных стационарных одномерных объектов. Впоследствии были разработаны различные модификации метода, позволяющие оценивать параметры нелинейных объектов, объектов с распределенными параметрами и широтно-импульсной модуляцией. Однако на

сегодняшний день остался невыясненным вопрос о возможности идентификации многомерных систем (ММО). На решение этой задачи направлены исследования, представленные в данном докладе.

Рассмотрим систему с двумя входами x_1, x_2 и двумя выходами y_1, y_2 . Передаточные функции в прямой цепи между точками x_1, y_1 и x_2, y_2 обозначим $W_1(s)$ и $W_4(s)$ соответственно. Передаточные функции в цепях обратных перекрестных связей – $W_2(s)$ и $W_3(s)$. Тогда передаточные функции между входами и выходами системы

$$W_{Y_1X_1}(s) = \frac{W_1(s)}{1 + W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot W_3(s) \cdot W_4(s)}, \quad W_{Y_1X_2}(s) = -\frac{W_1(s) \cdot W_3(s) \cdot W_4(s)}{1 + W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot W_3(s) \cdot W_4(s)},$$

$$W_{Y_2X_1}(s) = \frac{W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot W_4(s)}{1 + W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot W_3(s) \cdot W_4(s)}, \quad W_{Y_2X_2}(s) = \frac{W_4(s)}{1 + W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot W_3(s) \cdot W_4(s)}.$$

В качестве примера рассматривались звенья с передаточными функциями

$$W_1(s) = \frac{1}{1 + sT_1}, \quad W_2(s) = K_1, \quad W_3(s) = K_2, \quad W_4(s) = \frac{1}{1 + sT_2}. \quad (1)$$

К выходам системы аддитивно прикладывались равномерно распределенные сигналы помехи типа «дискретный белый шум». Модели связей между

входами и выходами задавались в виде передаточных функций

$$W_{Y_iX_k}(s) = \frac{b_{1k}s + b_{0k}}{a_{2k}s^2 + a_{1k}s + 1}, \quad k = 1, 4,$$

$$W_{Y_iX_j}(s) = \frac{b_{0k}}{a_{2k}s^2 + a_{1k}s + 1}, \quad i \neq j, \quad k = 2, 3.$$

Оценка параметров a_k, b_k осуществляется методом экспоненциальной модуляции, точно так же, как и для одномерной системы. Однако для многомерной системы было бы желательно восстановить структуру отдельных блоков системы в виде (1). Для рассмотренного примера эта задача решается достаточно просто, но при наличии в структуре системы звеньев более высокого порядка возникает проблема неоднозначности восстановления передаточных функций отдельных блоков системы [2]. Исследование и решение указанной проблемы яв-

ляется предметом дальнейшего исследования в области идентификации многомерных систем. Доклад подготовлен при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-01-00143а).

Список литературы

1. Анисимов Д.Н. Идентификация линейных динамических объектов методом экспоненциальной модуляции // Вестник МЭИ. – 1994. – № 2. – С. 74-78.
2. Хрипков А.В. Исследование и применение интегрально-модуляционных методов идентификации линейных динамических объектов: дисс. ... канд. техн. наук. – М., 2009.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АРХИТЕКТУР, ПРИМЕНЯЮЩИХСЯ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

The Research of Neural Network Architectures Used for Sequence Analysis

С.В. Колпинский, В.Л. Елисеев

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

С.В. Колпинский – студент каф. управления и информатики,
научный руководитель доцент В.Л. Елисеев

Рассматривается задача обработки последовательностей при помощи искусственных нейронных сетей. Анализируются нейросетевые архитектуры, применяющиеся для обработки последовательностей – многослойный перцептрон (Multilayer Perceptron, MLP), рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Networks, RNN) и сети долгой краткосрочной памяти (Long Short-Term Memory, LSTM).

В нынешнее время с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС) решаются различные задачи: классификация, кластеризация, анализ и синтез речи, изображений, текстов и прочие. Часто исходными данными для нейронной сети являются последовательности. Это могут быть временные ряды, предложения естественного языка, человеческая речь при распознавании – словом, любые данные, где соседние значения зависят друг от друга и эту зависимость нельзя игнорировать.

Возможны различные подходы к нейросетевому моделированию последовательностей. В одном из них на вход нейросети (многослойного перцептрона) одновременно подаются l предыдущих последовательных значений временного ряда и целью нейросети является предсказание следующего значения. Однако часто длина зависимости неизвестна заранее или может быть весьма большой. Для предсказания в такой ситуации хотелось бы, чтобы ИНС могла запоминать что-то из истории прошлых значений последовательности и использовать их для предсказания. ИНС с обратными связями (рекуррентные сети) в некоторой мере обладают свойством памяти. В таких сетях данные идут не только от входного слоя к выходному, но и от нейрона к самому себе или к другим нейронам того же слоя.

За счет таких обратных связей у сети появляется элемент памяти [1]. Сети LSTM относятся к классу рекуррентных нейронных сетей.

В данной работе проводится исследование различных вариантов ИНС для предсказания короткого импульса единичной амплитуды на выходе относительно входного импульса, отстоящего на фиксированный лаг во времени. Для проведения экспериментов создается пара сигналов X и Y , которые представляют собой последовательности коротких импульсов единичной амплитуды, при этом сигнал Y задержан относительно X на заранее заданное число тактов (лаг). Рассматриваются две ситуации – с отсутствием и с наличием случайной помехи в сигналах. Эксперименты заключаются в обучении ИНС различных типов с целью предсказания сигнала Y по сигналу X . Исследуется способность ИНС к предсказанию при различной величине лага.

Исследования показали, что многослойный перцептрон при лаге в 10 тактов и числе входов l равном 5 и 11 ведет себя принципиально по-разному. Видно, что многослойный перцептрон успешно моделирует зависимость только при числе входов, большем, чем величина лага. Простая рекуррентная сеть обеспечивает приемлемую точность предсказания при лаге, не превышающем 6-7 тактов. Это объясняется известной проблемой затухающих градиентов, замедляющих обучение ИНС при дольшой длительности между входным и ожидаемым выходным сигналами. Лаг в 15 тактов успешно обрабатывает только LSTM сеть, что обусловлено её специальной структурой.

В серии экспериментов с зашумленными сигналами для всех трех типов ИНС было обнаружено, что точность предсказания при прочих равных условиях становится выше. Объяснением этому, по всей видимости, является эффект регуляризации, используемый при решении сложных многомерных задач оптимизационными и конечно-разностными методами.

В результате исследований была подтверждена перспективность ИНС с обратными связями для целей прогнозирования временных рядов. Сеть LSTM выступает фаворитом, поскольку успешно моделирует зависимость между сигналами даже при большой задержке выходного сигнала относи-

тельно входного. Поэтому сети LSTM, как успешное развитие идеи простых рекуррентных ИНС, наиболее предпочтительны для использования при моделировании последовательностей.

Эксперименты проводились при помощи разработанных программ на языке высокого уровня Python с использованием свободно распространяемых библиотек Keras и TensorFlow.

Список литературы

Николенко С., Кадури А., Архангельская Е. «Глубокое обучение». – СПб.: Питер, 2019. – 480 с.: ил. – (Серия «Библиотека Программиста»).

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ОБФУСКАЦИИ ВЕКТОРНЫХ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ

A Research of the Neural Network Obfuscation Complexity of Vector Boolean Functions

Е.А. Милюкова, В.Л. Елисеев

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Е.А. Милюкова – студентка каф. управления и информатики,
научный руководитель доцент В.Л. Елисеев

Рассматривается задача сокрытия (обфускации) операций, производимых различными векторными булевыми функциями, с помощью искусственных нейронных сетей. Анализируются некоторые подходы обфускации, применяемые на практике. Предлагается методика по созданию нейросетевых моделей различных булевых функций. Обсуждаются особенности предложенной методики, её ограничения и потенциальные возможности.

В современных темпах развития технологий вычислений и коммуникаций широкое распространение получили облачные вычисления, при которых обработка данных осуществляется удаленно в крупных центрах. Совместно с этим возникает необходимость разработки дополнительных мер по защите информации.

Обфускация - приведение текста или исполняемого кода программы к виду, сохраняющему её функциональность, но затрудняющую понимание её работы. Техника обфускации кода программ используется преимущественно для защиты программного обеспечения от нелегального использования, а также применяется во вредоносных программах для затруднения их анализа. Базовым элементом любой программы являются функции, совершающие те или иные операции над данными. Сокрыв суть операций, производимых отдельными функциями алгоритма, можно полностью заменить программу ее обфусцированным аналогом [Л].

В качестве перспективного механизма обфускации алгоритмов могут выступать искусственные нейронные сети (ИНС). Доказано, что ИНС позволяют аппроксимировать любую функцию с любой

наперед заданной точностью. Общеизвестны трудности с извлечением знаний из обученной нейросети, что дает возможность предполагать, что они являются черным ящиком. В данной работе внимание будет сосредоточено на ИНС типа многослойный персептрон с полносвязными слоями и сигмоидальными функциями активации, как наиболее сложной для деобфускации архитектуры ИНС. Так как на выходе такой нейронной сети вещественные числа, ее выходные сигналы необходимо пропустить через пороговую функцию для получения булевого результата.

Любая булева функция может быть представлена своей таблицей истинности. Для обфускации такой функции с применением ИНС нужно представить таблицу истинности как обучающие данные, подобрать архитектуру нейронной сети и обучить нейронную сеть на всем множестве обучающих данных. Так как нейронная сеть обучается на всем множестве входных аргументов, нет необходимости выделять тестовые и контрольные данные, а также не возникает проблема переобучения. Скорее наоборот, требуется добиться от нейронной сети полностью выучить примеры из обучающей таблицы.

Если выбор количества нейронов в входном и выходном слое ИНС определяется самой обфусцируемой функцией, то задача определения числа скрытых слоев и количества нейронов в них не столь тривиальна. В данной работе исследуется сложность структуры нейронной сети типа *многослойный персептрон* и скорость ее обучения для различных векторных булевых функций. При этом

выбираются булевы функции различной сложности, включая взаимоднозначную и невзаимоднозначную (одностороннюю) случайную перестановку булевых векторов входа и выхода одинаковой размерности.

Результаты проведенных имитационных экспериментов показывают практическую возможность реализации векторных булевых функций с помощью нейросетей с целью обфускации, а также позволяют наметить методику выбора архитектуры

нейросети в зависимости от сложности обфусцируемой булевой функции.

Список литературы

С.В. Колтинский, Е.А. Милюкова, В.Л. Елисеев, *Нейросетевая обфускация алгоритма банковского скоринга // Сборник материалов XXV Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии – 2019», Нижний Новгород, 19 апреля 2019, с.725–732.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА МОДУЛИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ НА ТОЧНОСТЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Research of the influence of modulating functions type on the accuracy of identification of dynamic objects

Д.Н. Анисимов, О.С. Медникова, Ю.А. Млюкова

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

О.С. Медникова – аспирантка, Ю.А. Млюкова – студентка каф. управления и информатики, научный руководитель доцент Д.Н. Анисимов

В докладе приведены результаты исследования влияния вида модулирующих функций на статистические характеристики оценок параметров динамических объектов при идентификации методом модулирующих функций.

Метод модулирующих функций (ММФ) был предложен в 1957 г. М. Шинбротом [1] и впоследствии развит Ж. Лёбом и Г. Казном [2]. При идентификации методом модулирующих функций (ММФ) для описания объекта задается дифференциальное уравнение

$$a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + y(t) = b_m \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_0 x(t), \quad m \leq n. \quad (1)$$

Суть метода заключается в перемножении процессов на входе и выходе объекта на специально формируемые модулирующие функции $\psi_j(t)$, их производные $\psi_j^{(i)}(t)$ ($i=1, \dots, n$, $j=1, \dots, m+n+1$) и вычислении площадей S_{xij}, S_{yij} под образован-

ными кривыми. Процессы на входе и выходе объекта наблюдаются от момента времени $t=0$ до $t=T_H$. К модулирующим функциям предъявляется следующее требование:

$$\psi^{(i)}(0) = \psi^{(i)}(T_H) = 0, \quad i = 0, \dots, n-1, \quad (2)$$

где $v^{(i)}(t)$ – i -я производная функции $\psi(t)$ по времени. Тогда неизвестные параметры a_i, b_j опре-

деляются из решения системы линейных алгебраических уравнений

$$\sum_{i=0}^n (-1)^i S_{yij} a_i = \sum_{i=0}^m (-1)^i S_{xij} b_i, \quad j = 1, \dots, m+n-1. \quad (3)$$

Таким образом, получено алгебраическое уравнение, связывающее вычисленные площади S_{yi}, S_{xj} с параметрами a_i, b_j .

В качестве модулирующих могут быть выбраны различные функции, удовлетворяющие условиям (2). Например [3], полиномы вида

$$\psi(t) = k \cdot t^n (t - T_H)^n, \quad (4)$$

гармонические функции

$$\psi(t) = k \cdot \left(\sin \frac{2\pi}{T_H} t \right)^n, \quad (5)$$

гауссовские функции

$$\psi(t) = k \cdot \exp\left[-\frac{(t-T_H/2)^2}{\sigma^2}\right], \quad (6)$$

функции Пуассона

$$\psi(t) = k \cdot \frac{(\lambda t)^n}{n!} \cdot \exp(-\lambda t) \quad (7)$$

и т.п. К выходу объекта аддитивно приложена равномерно распределенная помеха типа «белый шум».

В докладе приведены результаты исследования влияния вида модулирующих функций на статистические характеристики оценок параметров объектов при изменении интенсивности сигнала помехи.

Доклад подготовлен при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-01-00143а).

Список литературы

Shinbrot M. On the analysis of linear and nonlinear systems // Trans. ASME. – 1957. – Vol. 79. – No. 3. – Pp. 547–542.

Loeb J. Cahen G. More about process identification. IEEE Trans. Automatic Control. – 1965. – AC-10. – No 3. – Pp. 359-361.

Анисимов Д.Н. Сравнительный анализ интегрально-модуляционных методов идентификации линейных динамических объектов // Вестник МЭИ. – 2015. – № 2. – С. 108-113.

ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА НА ДИНАМИКУ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

The influence of nonlinear properties of a fuzzy controller on the dynamics of the control system

Д.Н. Анисимов, Д.О. Севидова, Е.В. Фёдорова

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Д.О. Севидова – студентка, Е.В. Фёдорова – аспирантка каф. управления и информатики, научный руководитель доцент Д.Н. Анисимов

В работе проводится анализ вида поверхностей управления нечеткого логического регулятора (НР) на переходные процессы в системе автоматического управления. Выявлены основные зависимости, позволяющие осуществлять настройку НР, обеспечивающие заданные показатели качества системы.

Исследования, представленные в данной работе, являются частью комплексных исследований [1], направленных на выявление основных закономерностей функционирования НЛР в системе управления.

Ранее [2] были получены результаты, отражающие зависимости параметров аппроксимирующего линейного ПД-регулятора от параметров настройки НЛР, таких как выбор логического базиса, вид функций принадлежности термов лингвистических переменных, их области определения. Вместе с тем на работу нечеткой системы управления существенное влияние оказывают нелинейные свойства НЛР. Как показывает анализ литературных источников, в ряде случаев эти свойства позволяют добиться лучших показателей качества нечеткой системы по сравнению с линейной системой управления. Однако на данный момент недостаточно изучен вопрос, какими именно чертами должен обладать НЛР, чтобы его использование оказалось эффективным. Одной из информативных характеристик нечеткого регулятора является так называемая

поверхность управления (расширенная статическая характеристика) [3]. Например, для нечеткого пропорционально-дифференцирующего регулятора (НПД) при построении поверхности управления по оси абсцисс и ординат откладываются значения рассогласования системы и его производная соответственно, а по оси аппликат – управляющее воздействие, вырабатываемое регулятором.

В [4] были выделены два вида нечетких регуляторов: регулятор первого вида – нечеткий регулятор с параллельными одномерными нечеткими вычислителями и второго вида – с нечетким вычислителем с многомерным входом. На кафедре управления и информатики НИУ «МЭИ» традиционно разрабатываются системы на основе НЛР второго вида. Он более сложен для анализа, поскольку сигналы в нем связаны между собой многочисленными логическими операциями. Однако, как показывает сопоставление результатов исследований регуляторов этих двух видов [1, 5], в целом они демонстрируют схожие динамические свойства. Поэтому в данной работе мы ограничились исследованием системы с ПД-регулятором, содержащей параллельные связи с нелинейностью, описываемой уравнением

$$f(e) = \text{sign}(e) \cdot |e|^m,$$

включаемой на один из участков структурной схемы – до или после пропорционального звена, до или после дифференцирующего звена.

Проведенные исследования показали, что введение подобной нелинейности позволяет улучшить показатели качества системы управления, если включить ее перед звеном дифференцирования и выбрать значения $m < 1$. Этот результат позволяет осуществлять настройку НЛР, обеспечивающую его эффективную работу в контуре управления.

Доклад подготовлен при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-01-00143а).

Список литературы

Анисимов Д.Н., Май Тхе Ань. Динамические свойства нечетких систем управления, построенных на основе реляционных моделей // *Мехатроника, автоматизация, управление.* – 2017. – Т. 18. – №5. – С. 298-307.

Анисимов Д.Н., Дроздова Е.Д., Новиков В.Н. Исследование свойств нечеткого аппроксимирующего ПД регулятора // *Мехатроника, автоматизация, управление.* – 2014. – № 9. – С. 6-12.

Анисимов Д.Н., Грязнов С.М., Федорова Е.В. Оценка свойств нечетких систем управления на этапе формирования базы знаний // *Мехатроника, автоматизация, управление.* – 2018. – Т. 19, № 5. – С. 291-297.

Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов. – М.: Наука, 2006.

Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П., Ситников М.С. Исследование периодических колебаний в системах управления с нечеткими регуляторами // *Информационно-измерительные и управляющие системы.* 2013. Т.11. № 6. С. 37-45.

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР

Multichannel fuzzy regulator

Ю.А. Быковцев

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва

Ю.А. Быковцев – студент кафедры «Проблемы управления»,
научный руководитель профессор В.М. Лохин

Рассматриваются подходы к созданию программно-аппаратного комплекса, реализующего многоканальное нечеткое управление для быстродействующих систем автоматического управления.

По мере развития технических систем, появляются классы объектов, для которых традиционные технологии управления оказываются непригодными. Для систем управления, где требуется высокая скорость и точность перемещений (следающие приводы, системы наведения и т.д.) традиционные технологии не могут обеспечить повышение качества управления, особенно в условиях воздействия различных факторов неопределенности и нестационарности, действующих на систему. К таким факторам относятся, например, изменения кинематических связей при изменении конфигурации различного рода многозвенных электромеханических устройств, температурные изменения коэффициента вязкого трения, различного рода возмущения, приведенные как к валу исполнительного двигателя, так и к его входу. Одним из способов решения данных проблем является применение интеллектуальных технологий: нейронных сетей, ассоциативной памяти, нечеткой логики [1]. Исследования, проводимые в [1÷3], демонстрируют, что применение регуляторов, построенных на базе нечеткого логического вывода, позволяют обеспечить качественно улучшение динамических характеристик систем управления. При этом перспективной структурой нечеткого регулятора представляется

структура, где помимо трех нелинейных каналов управления – пропорционального, дифференциального и интегрального (аналогично классическому ПИДу), предусмотрены дополнительно два нелинейных канала: компенсации внешних возмущений и компенсации нестационарностей в отдельных звеньях системы управления. В работе обосновывается структура пятиканального регулятора и основные принципы построения аппаратно-программной реализации на базе отечественного микроконтроллера 1967ВН028. Исследования, проведенные на макете быстродействующего следающего привода с 5-ти канальным регулятором, показывают существенное улучшение динамики и точности управления в следающих системах при воздействии на них различного рода внешних возмущений по сравнению с классическими способами управления. Разработанные методики настройки позволяют быстро получить необходимую конфигурацию регулятора и параметры отдельных каналов. Для управления приводами подвижных объектов (мобильных роботов, летательных аппаратов и т.д.) предусмотрена возможность подстройки 5-ти канального регулятора по командам с тактического уровня управления. Работа выполнена при поддержке «Российского научного фонда» в рамках проекта №16-19-00052 «Синтез интеллектуальных регуляторов для систем управления мобильных объектов с высокой степенью управляемости».

Список литературы

Макаров И.М., Лохин В.М. *Интеллектуальные системы автоматического управления* – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 576 с.

Пегат А. *Нечеткое моделирование и управление / пер. с англ.* – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний,

2009. – 798 с. (*Адаптивные и интеллектуальные системы*).

Ч.1. *Нечеткие регуляторы (методика построения, примеры), эл. уч. пособие серии «Интеллектуальные регуляторы и системы управления»/Казачек Н.А., Лохин В.М. и др. МИРЭА, 2014.*

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА
В РЕЖИМЕ ОГИБАНИЯ РЕЛЬЕФА ДНА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

**Intelligent control system of Autonomous unmanned underwater vehicle
in the bottom relief envelope mode based on fuzzy logic**

М.С. Рябинкин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

М.С. Рябинкин – студент кафедры 305 "Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации", научный руководитель доцент Д.А. Антонов

Рассматривается интеллектуальная система предупреждения о столкновении и обхода препятствий автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА), основанная на нечеткой логике управления. Приводятся требования, ограничения на применение, алгоритмическая и аппаратная структура для реализации движения АНПА в режиме огибания рельефа дна. Дается описание алгоритма управления на основе нечеткой логики и правила принятия решений. Приводятся методика, программно-математическое обеспечение (ПМО) и результаты имитационного моделирования с целью исследования свойств синтезированной интеллектуальной системы управления АНПА.

В рамках выполнения опытно-конструкторской работы по созданию комплекса гидрографической съемки с использованием многолучевого гидролокатора бокового обзора, установленного на АНПА, встала задача обеспечения движения АНПА в режиме огибания с выдерживанием высоты отстояния от дна. Одной из проблем при реализации такого режима движения является возможность столкновения АНПА с препятствием. Поэтому целью работы стал синтез и исследование свойств алгоритма предупреждения о столкновении и обхода препятствий на основе нечеткой логики для интеллектуальной системы управления АНПА при движении в режиме огибания рельефа дна [1].

Основными особенностями рассматриваемой АНПА является малый диаметр внутреннего корпуса (195 мм) и длина до 2.5 метров. Это придает с одной стороны достаточно высокую маневренность аппарата, с другой стороны накладывает ограничения на состав, габаритные и точностные характеристики комплекса бортового оборудования, в том числе, используемого для реализации режима огибания. Основными источниками информации для этого режима движения являются вперед смотрящий эхолот, акустический высотомер, глубиномер, инерциальная навигационная система и доплеровский лаг. Решение задач навигации, стабилизации и

управления движением осуществляется в вычислительной системе АНПА [2].

При выборе траектории движения АНПА, в случае обнаружения препятствия, возможны следующие варианты: индикация о появлении преграды на пути АНПА, всплытие над уровнем препятствия, всплытие с уменьшением скорости движения и экстренное торможение. При принятии решения и настройке контура управления АНПА в режиме огибания используется алгоритм на основе нечеткой логики. При этом, в алгоритме нечеткой логики учитываются различные факторы, например, скорость движения, отстояние от дна, расстояние до препятствия, состав и точности измерителей, массогабаритные и гидродинамические характеристики АНПА.

Для исследования свойств синтезированного алгоритма управления была разработана методика и ПМО имитационного моделирования как самих алгоритмов, так и различных возмущающих факторов, влияющих на характер принимаемых решений. К внутренним факторам относятся погрешности систем, динамика объекта, гидродинамические коэффициенты. Внешними факторами являются течение и перепад глубины при маневрах. В докладе приводится анализ результатов исследования свойств синтезированного алгоритма управления на основе нечеткой логики при воздействии различных возмущающих факторов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Задание №8.2118.2017/4.6 на выполнение НИР в рамках проектной части госзадания в сфере научной деятельности).

Список литературы

М.Д. Агеев, Л.В. Киселев, *Автономные подводные роботы: системы и технологии*

А.В. Савкин, Л.А. Колганов, Е.Л. Чехов, Синтез программно-алгоритмического обеспечения навигации и управления движением автономного обитаемого аппарата

газии и управления движением автономного обитаемого аппарата

ЧИСЛЕННЫЙ ОБРАТНЫЙ ВЫВОД НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Numerical backward chaining based on the system of fuzzy logic

В.В. Нижневский, М.Г. Матвеев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет»

В.В. Нижневский – аспирант кафедры «Информационных технологий управления», научный руководитель М.Г. Матвеев

В докладе рассмотрена проблема реализации обратного вывода на основе системы нечетких продукционных правил. Приведен исследованный ранее подход реализации обратного множества на основе правила Modus Tollens. Предложен численный метод проведения обратного вывода. Приведены условия допустимости проведения численного обратного вывода, полученные эмпирическим путем.

Обратный вывод позволяет получить значение входной переменной по заданному значению выходной переменной.

Согласно теореме, доказанной Бартом Коско, любая математическая функция многих переменных может быть аппроксимирована системой нечеткой

логики с заданной точностью [1]. Это позволяет предположить, что, найдя обратную функцию прямой зависимости, можно реализовать обратный вывод.

Ранее была исследована возможность реализации обратного вывода на основе правила Modus Tollens. Исследователи провели ряд экспериментов, в лучшем из которых было достигнуто значение среднеквадратичной ошибки = 0,06 при параметрическом методе импликации [2].

Параметрическая импликация представляет собой сложный метод нечеткой импликации, в котором параметр t необходимо находить подбором.

$$I = \max((1-t)(x+y) + tx - (1-t), 0), t \in [0, 1]$$

Рассмотрим реализацию численного обратного вывода. Построим систему, состоящую из двух входов x , x' и одного выхода y . Прямой нечеткий логический вывод проведем с использованием алгоритма Мамдани. Получим зависимость переменной y от x при фиксированном значении x' .

Численно построим зависимость переменной x от y , обратную исходной. В общем случае эта зависимость не является функцией, так как исходная зависимость y от x не является монотонной. Полученное значение среднеквадратичной ошибки равно 0,005 [3].

По результатам проведения ряда экспериментов эмпирическим путем получаются следующие условия допустимости проведения обратного вывода:

База правил системы нечеткого логического вывода должна обладать достаточной полнотой и непротиворечивостью.

Функции принадлежности термов каждой лингвистической переменной подбираются так, чтобы они перекрывались на уровне 0,5 [4].

На вход обратному логическому выводу (выходной переменной y) необходимо подавать значения из диапазона значений y , полученных при прямом выводе алгоритма.

Предпочтительнее использовать монотонные зависимости выходной переменной от входной переменной, по которой предполагается проводить обратный вывод. Это обеспечит единство значения, получаемого при обратном выводе.

Список литературы

Kosko B. Fuzzy systems as universal approximators // In Proc. of the IEEE Int. Conf. of Fuzzy systems. San Diego. 1992. P. 1153-1162.

Семенов Б.А. Модели и методы решения многокритериальных задач нечеткой оптимизации: дисс. ... канд. физ.-мат. наук. — Воронеж, 2010. — 186 с.

Нижневский В.В. Разработка оболочки экспертных систем на основе нечетких продукционных

правил с возможностью обратного вывода: дисс. ... магистра информационных систем и технологий. — Воронеж, 2019. — 76 с.

Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. — Москва: Горячая линия-Телеком, 2007. — 284 с.: ил.

МЕТОД НЕЧЕТКИХ ОБЛАСТЕЙ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИЙ

The method of fuzzy preferences for evaluating the efficiency of innovations

Т.В. Сивакова, В.А. Судаков

Федеральное государственное учреждение "Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук",
Москва (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)

В работе предложена методика для оценки инновационной деятельности на базе нечетких предпочтений и с учетом ресурсных ограничений. В силу инвариантности подхода, он может быть распространён на задачи оценки в других областях экономической деятельности.

Определение эффективности инноваций является сложной многокритериальной задачей, поскольку приходится оценивать исходя из заданных технологических, социально-экономических, финансовых и прочих критериев. Кроме того, требуется определение не только конечного результата инноваций, но и расчет эффективности на всех этапах инновационного процесса, для каждого участника/агента и по каждому используемому ресурсу [1]. Таким образом, необходимо построение интегральной оценки эффективности исходя из векторного критерия с учетом системы ценностей всех заинтересованных лиц и с учетом как объективных, так и субъективных экспертных оценок.

В настоящее время не существует универсальных подходов к оценке инновационной деятельности. Авторы для решения поставленной задачи предлагают использовать нечеткие методы многокритериальной оценки альтернатив, которые последнее время интенсивно развиваются в России и за рубежом. Однако эксперт зачастую не может однозначно дать четкую оценку объекту экспертизы, а иногда не может однозначно определить отношение предпочтения между двумя объектами. Ценной информацией от эксперта может быть оценка степени его уверенности в том, что оценка принимает то или иное значение. Для подобных оценок хорошо подходит аппарат теории нечетких множеств предложенный Лотфи Заде [2].

В работе [3] предложено для всех критериев ввести нечеткие шкалы, состоящие из нечетких градаций (интервалов значений с нечеткими границами). Пересечение нечетких градаций в рамках одного критерия допускается с учетом ограничений на минимальную и максимальную степень принадлежности произвольного значения. ЛПР (лицо, принимающее решение) оценивает в нечеткой шкале предпочтений некоторые из комбинаций нечетких значений

критериев. Далее проводится проверка полноты модели предпочтений: для всех точек критериального пространства уровень предпочтений должен быть не ниже заданного. Определение комплексной оценки инновационной деятельности происходит с помощью нечеткой импликации, предложенной в работах [4,5] для задач управления на базе нечеткой логики. Данная модель позволяет в автоматическом режиме проводить оценку произвольного количества альтернатив. По всем областям предпочтений метод позволяет построить функции принадлежности альтернатив. На вход модели многокритериальной оценки подаются четкие и/или нечеткие значения критериев. Для получения итогового ранжирования альтернатив следует: или дефазифицировать нечеткие ранги альтернатив, или определить нечеткое отношение доминирования для всех пар альтернатив.

Сочетание нечетких областей предпочтений с процедурой нечеткого взвешенного суммирования на едином критериальном пространстве позволяет говорить об оригинальности метода. Научной новизной, на взгляд авторов, обладает процедура определения критерия различимости альтернатив на нечетких областях предпочтений. На базе нечетких предпочтений ЛПР в нечетких областях, и нечетких весов критериев изложенный метод поддержки принятия решений позволяет ранжировать произвольное количество альтернатив в автоматическом режиме. Для повышения качества принимаемых решений разработаны правила и соотношения позволяющие оценить полноту задания нечетких суждений.

Представленная методика оценки инновационной деятельности позволит решать целый комплекс задач по повышению эффективности инновационного процесса: оценку эффективности инноваций в соответствии с интегральными нечеткими оценками, полученными на основе векторного критерия, анализ чувствительности критериев по отношению к изменениям входных параметров моделей процессов инноваций, анализ рисков в отношении критериев эффективности, поиск наиболее существен-

но влияющих параметров в отношении критериев эффективности инноваций.

Список литературы

Shelton K. and Arciszewski T. 2007 Formal innovation criteria International Journal of Computer Applications in Technology (IJCAT) 30(1/2) pp 21 – 32;
Zadeh L.A. 1988 Fuzzy logic The Computer Journal 21(4) pp 83–93;

Dutov A.V., Nesterov V.A., Sudakov V.A. and Sypalo K.I. 2018 Fuzzy Preference Domains and Their Use for Selecting an Electronic Flight Bag for Flight Crews Journal of Computer and Systems Sciences International 57(2) pp 230–238;
Terano T. Asai K. and Sugeno M. 1992 Fuzzy Systems and Its Applications (Academic Press).

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКОВ СИЛЫ

Development of an electronic unit of laboratory bench for a loadcell parameter research

И.И. Антонов, С.А. Канаев, О.В. Москаленко

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва

И.И. Антонов – магистр кафедры КБ-6 «Приборы и информационно-измерительные системы», научный руководитель д.т.н., проф. В.В. Слепцов

Рассматриваются особенности аппаратной реализации электронного блока лабораторного стенда для исследования параметров датчиков силы.

При разработке микропроцессорного электронного блока для весоизмерительного устройства [1] потребовалось проведение сравнительных испытаний тензорезистивных датчиков силы, в ходе которых был разработан лабораторный стенд для исследования параметров датчиков силы. Он включает в свой состав три элемента, а именно: электронный блок, механическую защиту датчика силы от перегрузки и компьютер с управляющим программным обеспечением.

Электронный блок построен на основе схемотехнических решений микропроцессорного электронного блока для весоизмерительного устройства [1] и включает в себя управляемый источник питания измерительного моста, который может работать в режиме прецизионного источника постоянного тока или источника опорного напряжения. Переключение режимов работы схемы питания измерительного моста осуществляется при помощи переключателей, установленных на печатной плате. Для обеспечения возможности изменения значения управляющего тока или напряжения питания измерительного моста в широких пределах, в состав его схемы питания включен 16-разрядный цифро-аналоговый преобразователь. Электронный блок позволяет исследовать параметры датчиков силы с номинальным сопротивлением тензорезисторов в диапазоне от 10 до 1000 Ом [2].

Также в состав схемы входят: измерительный усилитель, нормирующий усилитель с программируемым коэффициентом усиления, пассивный радиочастотный фильтр, фильтр нижних частот и 24-разрядный аналого-цифровой преобразователь на базе сигма-дельта модулятора [1]. Связь с управляющим персональным компьютером (ПК) осуществляется при помощи гальванически изолированного интерфейса USB.

При превышении допустимой нагрузки на датчик, происходит необратимая деформация, вызывающая разрушение используемых в его конструкции тензорезисторов. Для предотвращения повреждения датчиков силы и разрушения тензорезисторов в состав лабораторного стенда включена конструктивная защита датчика от перегрузки. В качестве элементов защиты применены стопоры, которые принимают чрезмерную нагрузку на себя и предотвращают дальнейшую деформацию и разрушение датчика.

При помощи программного обеспечения, написанного в среде визуального программирования LabVIEW и установленного на управляющий ПК, производится снятие различных характеристик исследуемых тензорезистивных датчиков силы.

Лабораторный стенд может использоваться для исследования характеристик датчиков силы, сравнительного анализа и поиска оптимальных параметров схем включения тензорезисторов, а также в учебном процессе при проведении лабораторного практикума.

В докладе рассматриваются особенности аппаратной реализации электронного блока лабораторного стенда для исследования параметров тензорезистивных датчиков силы, а также конструктивная схема защиты датчиков от чрезмерной нагрузки.

Список литературы

- 1. Антонов И.И., Канаев С.А., Москаленко О.В. Микропроцессорный электронный блок для весоизмерительного устройства // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сборник трудов XXVII Международ. научно-технич. конф.– Алушта, 2018. – С. 197*
- 2. Мехеда В.А. Тензометрический метод измерения деформаций: учебное пособие. Самара: издательство Самарского государственного аэрокосмического университета, 2011. 56 с.*

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРА СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЕГО ЛИЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Analytical model of the formation of an individual trajectory of training a special-purpose system operator based on his personal characteristics

А.А. Шишкин

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

А.А. Шишкин – аспирант кафедры «Информационные системы и защита информации», научный руководитель заведующий кафедрой В.В. Алексеев

В работе представлена разработанная автором аналитическая модель формирования индивидуальной траектории подготовки оператора системы специального назначения, позволяющая учитывать в процессе подготовки его личностные характеристики, что снижает время и повышает качество подготовки.

В настоящее время в процессе подготовки операторов систем специального назначения (ССН) имеются серьезные упущения, связанные как с недостаточным использованием современных математических методов, так и средств вычислительной техники, а также в процессе подготовки не учитываются личностные характеристики операторов [1, 2]. В связи с данной проблемой разработана аналитическая модель формирования индивидуальной траектории подготовки оператора ССН, позволяющая учитывать его личностные характеристики в процессе подготовки.

Разработанная аналитическая модель формирования индивидуальной траектории базируется на компетентностной концепции подготовки, согласно которой задача подготовки состоит в том, чтобы множество требуемых компетенций оператора ССН ($K_{тр}$) было включено в множество текущих ($K_{тек}$):

$$K_{тр} \subseteq K_{тек}. \quad (1)$$

Основными показателями оператора ССН (O) в рамках разработанной аналитической модели формирования индивидуальной траектории подготовки являются его текущие компетенции и личностные характеристики (C_O):

$$O = \{K_{тек}, C_O\}. \quad (2)$$

Подготовка оператора ССН – это информационное воздействие на него, множество возможных видов которого (A) состоит из множеств форм (F) и методов (H) подготовки и форм контроля (V):

$$A = \{F, H, V\}, \quad (3)$$

которые в свою очередь делятся по видам на равные по количеству элементов подмножества, состоящие из конкретных элементов подготовки, обеспечивающих формирование у оператора ССН определенных компетенций [3].

Задача формирования индивидуальной траектории подготовки оператора ССН состоит в выборе из

всех возможных видов информационного воздействия на оператора конкретных элементов подготовки исходя из его личностных характеристик и текущих компетенций. Выбор осуществляется в два этапа:

Функцией S на основе набора правил, хранящегося в базе знаний, из возможных видов информационного воздействия выбираются наиболее подходящие под личностные характеристики оператора

$$S = f(A, C_O). \quad (4)$$

Полученное в результате первого этапа множество передается в функцию изменения состояния оператора T , которая выбирает из него конкретные элементы подготовки, обеспечивающие выполнение задачи подготовки, представленной в выражении):

$$T = f(S, K_{тр}, K_{тек}). \quad (5)$$

Выражения (1) – (5) определяют основу аналитической модели формирования индивидуальной траектории подготовки оператора ССН, которая позволяет снизить время и повысить качество подготовки оператора ССН благодаря учету его личностных характеристик.

Список литературы

1. Дедов, Д.Л. Виртуальный тренажерный комплекс предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера на основе моделирования деятельности человека-оператора / Д.Л. Дедов, М.Н. Краснянский, А.А. Руднев // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2012. – Т.18. – С. 834-839.
2. Краснянский, М.Н. Математическое моделирование адаптивной системы управления профессиональным образованием / М.Н. Краснянский, А.И. Попов, А.Д. Обухов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т.23. – С. 196-208.
3. Алексеев, В.В. Адаптивная информационная технология подготовки операторов систем специального назначения на основе компетентностного подхода / В.В. Алексеев, А.А. Шишкин // Правовая информатика. – 2018. – № 13. – С. 60-69.

ВЛИЯНИЕ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ НА КАЧЕСТВО ОБУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОСЕТИ

The effect of a learning sample on the quality of teaching an artificial neural network

М.В. Ивакин, И.А. Никитенко

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

М.В. Ивакин, И.А. Никитенко – студенты кафедры 305 "Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации", научный руководитель ассистент Т.С. Хорев

Описан алгоритм распознавания лиц на основе искусственной нейросети. Составлена обучающая выборка и рассмотрено влияние обучающей выборки на качество работы нейросети. Приведены результаты сравнения описанного алгоритма с другими алгоритмами.

В настоящее время динамично развиваются технологии, основанные на использовании искусственных нейронных сетей. Одной из наиболее перспективных областей применения таких технологий является автоматизация различных систем безопасности, в частности, в аэропорту и на прилегающей к нему территории.

В научно-исследовательском отделе кафедры 305 московского авиационного института проводятся работы над созданием автоматизированного роботизированного комплекса для наблюдения за воздушным судном на аэродромной стоянке. Разрабатываемый робот оснащен средствами видеонаблюдения, которые позволяют, в том числе, реализовать различные алгоритмы распознавания лиц на борту робота. В качестве платформы для вычислений на роботе используется компьютер Jetson TX2. Данная модель компьютера отличается малыми габаритами и весом, но обладает ограниченными вычислительными возможностями.

Целью работы являлось исследование и разработка алгоритмов распознавания лиц для описанного роботизированного комплекса, а также анализ целесообразности использования искусственной нейросети для выполнения этой задачи.

Рассмотрен алгоритм с использованием нейронных сетей, в основу которого была положена модель нейронной сети Inception_v3. [1] Особенностью её архитектуры является изменение ядра свёртки с 5x5 на 3x3 и перестроении комбинации сверточных слоев. В качестве примера составлена обучающая выборка из 1500 фотографий 6 людей как мужского, так и женского пола. Проведено статистическое исследование точности распознавания лиц. Представлены результаты сравнения предлагаемого нейросетевого алгоритма с другими алгоритмами распознавания лиц.

Рассмотрена целесообразность применения искусственной нейронной сети для решения задачи распознавания лиц в условиях ограниченных вычислительных возможностей автономного роботизированного комплекса.

Список литературы

1. Michael Nielsen. Neural Networks and Deep Learning.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ

Comparative characteristics of the speech intelligibility methods

В.В. Алексеев, А.В. Яковлев, М.В. Моисеева

Тамбовский государственный технический университет

*М.В. Моисеева аспирант кафедры ИСиЗИ,
научный руководитель д.т.н., профессор, В.В. Алексеев*

В данной работе рассматриваются различные подходы к определению разборчивости речи, такие как субъективные и объективные. Выделены достоинства и недостатки каждой группы методов.

Часто встречаются случаи, когда посторонний шум настолько мешает услышать нужное, что слова становятся неразборчивыми. Этот факт заметили и стали применять, чтобы сохранить в тайне разговор, например открыв водопроводный кран в ван-

ной комнате. Разборчивость речи – один из важнейших критериев качества канала передачи речевой информации.

Методы разборчивости делятся на субъективные и объективные. К субъективным методам относятся: чисто субъективный; объективный; тональный.

К объективным методам относят: формантные; модуляционные и артикуляционные.

Чисто субъективный метод является практически самым простым, но и с явными очевидными недо-

статками. При этом подходе используется пара диктор-аудитор. Диктор на одном конце зачитывает сообщение, а аудитор при прослушивании определяет оценку канала передачи.

Одним из самых объективных методов является метод артикуляции. Он заключается в том, что перед началом измерений в испытуемом канале создаются нормальные акустические условия. Участвуют несколько аудиторов, а диктор вместо обычного текста читает специально составленные таблицы слогов. Аудиторы записывают услышанное и по окончании сеанса передачи сверяют свои таблицы с дикторскими. Отношение правильно услышанных слогов к их общему числу и есть оценка разборчивости речи, которая выражается в процентах либо в долях единицы.

Достоинства: универсальность и простота. Главным недостатком является человеческий фактор.

Рассмотрим еще один объективизированный субъективный метод – тональный, согласно которому диктор заменяется генератором чистых тонов. Этот искусственный голос – обычный громкоговоритель без диффузора, который генерирует сигналы таким образом, чтобы уровень звуковых давлений, создаваемый на различных частотах, соответствовал бы кривой спектра формант. Задача аудиторов – определить, слышен ли сигнал на данной частоте или нет.

Уровень ощущения формант измеряется путем плавного ввода затухания до исчезновения слышимости звука, затем затухание следует убавлять до момента появления звука. Два значения затухания усредняются – это и есть результат измерения. Формантная разборчивость речи определяется по таблице.

Уровень ощущения формант измеряется путем плавного ввода затухания до исчезновения слышимости звука, затем затухание следует убавлять до момента появления звука. Два значения затухания усредняются – это и есть результат измерения. Достоинства: снижение затрат и времени измерений. Недостатками являются человеческий фактор и невозможность автоматизации процесса.

Отличие субъективных и объективных методов заключается в человеческом факторе, а точнее в его отсутствии, так как для измерений используют искусственный голос, рот и ухо.

Список литературы

Субъективные и объективные методы оценки разборчивости речи/ И.Алдошина // Журнал «Звуко-режиссер»

Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации. Монография / Дидковский В.С., Дидковская М.В., Продеус А. Н. – Киев, 2008. 420.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ ПРАВИЛ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ АВТОНОМНЫМИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Intellectual algorithms of assessment of safety rules when conducting mining operations by autonomous robotic systems

А.О. Маркарян

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

Рассматриваются вопросы обеспечения безопасности при ведении горных работ с использованием автономных робототехнических систем. Исследован уровень роботизации при разработке месторождений. С помощью интеллектуальных алгоритмов проведена оценка правил безопасности при ведении горных работ и разработаны рекомендации по их адаптации к условиям безлюдной добычи полезных ископаемых

Горнодобывающая промышленность является одной из стратегически важных отраслей, формирующих бюджет России. Согласно данным Росстата, в 2018 году удельный вес добычи полезных ископаемых в структуре ВВП составил 11,5 %, причем с 2014 года этот показатель вырос на 3,6 % [1].

Горнодобывающие предприятия предоставляют большое количество рабочих мест, но при этом горные работы являются одним из самых опасных видов работ, характеризующихся высокой аварийностью. Наиболее часто происходящими аварийными ситуациями при проведении подземных гор-

ных работ являются: обвалы и обрушения породы, затопление выработки водой, возгорания и пожары, задымленность воздуха, выбросы газа и угольной пыли, взрывы. Для открытых работ наибольшую угрозу представляют обрушения бортов карьера, пожары, выбросы угля и газа [2].

Современный уровень развития информационных технологий и робототехники дает возможность решить проблему безопасности, заменив человеческий труд машинным. Например, уже сейчас в шахтах используются универсальные роботизированные комплексы, позволяющие автоматизировать процесс добычи угля [3]. Внедрение робототехники привело к снижению количества несчастных случаев, но полностью не освободило человека от пребывания в забое.

В перспективе ожидается повсеместное внедрение автономных робототехнических систем, работающих под удаленным наблюдением диспетчера, вследствие чего человек будет полностью выведен

за пределы шахты. Использование таких машин позволит элиминировать несчастные случаи в горных выработках. Кроме того, роботы могут работать в бескислородной атмосфере, что даст возможность добывать полезные ископаемые в недоступных для человека местах.

Несмотря на очевидные преимущества использования автономных робототехнических систем в горнодобывающей промышленности, существуют определенные сложности их внедрения. Во-первых, не сформирована соответствующая нормативно-правовая база. В настоящее время основным документом, регламентирующим вопросы безопасности горных работ, являются «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» [4]. Но они разработаны для условий, в которых при разработке месторождений применяется человеческий труд, и малоприспособлены для робототехники. Во-вторых, становится приоритетной задача оценки безопасности горной выработки при условии, что участниками процесса будут являться не люди, а машины. Это связано с тем, что из-за высокой стоимости роботов предприятие в случае аварии потерпит многомиллионные убытки.

Обобщая вышесказанное, цель работы заключается в оценке правил безопасности при ведении горных работ и их адаптации к условиям безлюдной разработки месторождений. В качестве исходных дан-

ных используется документ [4], состоящий из 1060 правил. Оценка и разработка рекомендаций по изменению правил безопасности при условии полной замены человеческого труда автономными робототехническими системами осуществляется с использованием интеллектуальных алгоритмов.

Список литературы

1. Динамика и структура ВВП России // *Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики [Электронный ресурс]*. – 2019. – вып. 48. – URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/21979.pdf>
2. Пахомов В.П., Рудакова Л.В. *Техногенные катастрофы горнопромышленного характера* // *Экономика региона [Электронный ресурс]*. – 2006. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnogennye-katastrofy-gornopromyshlennogo-haraktera>.
3. Певзнер Л.Д., Ким М.Л. *Робототехника в горном деле* // *Горный информационно-аналитический бюллетень [Электронный ресурс]*. – 2014. – № S1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/robototekhnika-v-gornom-dele>.
4. *Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых"*: Приказ Ростехнадзора от 11.12.2013 № 599 (ред. от 21.12.2018)

Секция 6. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ РАЗРАБОТКИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРИВОДА

ИНВАРИАНТНОСТЬ ОПТИМАЛЬНОГО ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ УПРАВЛЕНИЯ К НАСТРОЙКЕ РУЛЕВОГО ПРИВОДА

Optimal time control's invariance to control actuator's settings

К.Г. Фаворский, Е.К. Фаворский

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
LLC Union 17 (Dunchoille Holdings LTD Cyprus)

Предлагается алгоритм синтеза оптимального по быстродействию управления инвариантный к не симметрии управляющего воздействия.

Синтез оптимального по быстродействию управления реализуется при ограничении на нормированное управляющее воздействие $U \leq 1$. (Это неравенство определяется упорами перемещения рулевого привода, равного углу η , а в пересчёте на нормированное управляющее воздействие равно 2). В этом случае $U = 0$ должно соответствовать биссектрисе угла поворота руля η . Ошибки регулировки при настройке рулевого привода приведут к тому, что положение $U = 0$ отклонится от биссектрисы на угол α . Не симметрия объекта управления и нестационарность положения масс на объекте или другие причины создадут возмущающие моменты и будут парироваться управляющим моментом, который при стационарном движении сдвинет управление на угол β относительно биссектрисы. Учёт углов α и β приведёт к не симметрии управляющего воздействия при положении рулей соответствующим упорам перемещений рулевой машинки, например: 1.1 и -0.9. Не симметрию можно рассматривать как действие постоянного возмущающего момента $G = f(\alpha, \beta)$, например: $+1+G$ и $-1+G$. Синтез оптимальных управлений при наличии постоянного возмущающего момента, величина которого известна, рассматривается в работе Павлов. При отсутствии информации о величине G можно воспользоваться методами адаптивного управления, что существенно усложнит синтез. Или ввести в рулевой привод систему регулирования длины штока, которая при действии возмущения выставляла бы рули в положение биссектрисы, что равносильно установке второй рулевой машинки. Предлагается за счёт сокращения области начальных условий ввести инвариантные гиперповерхности переключения. Воспользуемся методом синтеза, предложенного в работе [2], в котором гиперповерхность оптималь-

ного переключения заменяется $n-1$ поверхностями инвариантного переключения. Рассмотрим пример, имеем объект $p^2x = U + G$. Варьируя величину G , определим две точки одномерного множества переключения при заданной величине $x_{1,0}$:

$$x_{1неп} = \frac{1+G}{2} x_{1,0} \quad ; \quad x_{2неп} = \sqrt{(1-G^2) \cdot (-x_{1,0})} \quad \text{при} \\ x_{1,0} < 0. \quad \text{При исключении из системы величины}$$

$x_{1,0}$ получим: $x_{2неп} = \sqrt{2(-1+G)x_{1неп}}$. При $-0.1 < G < 0.1$, точки переключения по координате $x_{2норм}$ отличаются на 0.5%. Координаты линии практически не зависят от x_1 . Предлагается следующий алгоритм управления. На первом интервале $U = -\text{sign}(x_{1,0})$. Фиксируем экстремум x_{1m} при $x_2 = 0$. На фазовой плоскости выставляется линия переключения $x_{2неп} = \sqrt{|x_{1m}|(-\text{sign}(x))}$ и переключаем управление при $x_2 = x_{2неп}$ после чего убираем с плоскости линию переключения, чтобы избежать скользящего режима. Отключение второго интервала управления происходит при $x_2 = 0$. При

величине $|G| < 0.1$ ошибка $X_{1кон}$ составляет около 1% от фиксированной экстремальной величины X_{10} .

Список литературы

1. Павлов А. А. Синтез релейных систем, оптимальных по быстродействию, М. Наука 1966 г.
2. Фаворский Е.К. Синтез оптимальных по быстродействию управлений, не зависящих от постоянных возмущений, Труды XXII-го Международного научно-технического семинара «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации», Алушта, 2013.

К ВОПРОСУ ВЫБОРА МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОРЕЗИСТИВНОЙ ТРИБОДИАГНОСТИКИ

To the question of the choice of the method of obtaining diagnostic information for electroresistive tribodiagnostics

А.В. Селихов, В.В. Мишин, К.В. Подмастерьев

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

В работе рассматривается вопрос совершенствования метода электрорезистивной диагностики на основе анализа режима трения.

Одним из направлений диагностирования опор качения является электрорезистивная диагностика, основанная на контроле электрического сопротивления трибосопряжения, которое складывается из сопротивления смазочного слоя, контактирующих материалов, сопротивления стягивания, сопротивления поверхностных слоев.

Критерием оценки технического состояния является режим трения, в котором работает опора: граничный – происходит постоянное контактное взаимодействие; жидкостной – контактирующие тела разделены слоем смазочного материала и взаимодействие бесконтактное; смешанный – переходный смазочный процесс. Широко распространенным методом определения режима трения является определение продолжительности существования смазочного слоя, как отношение времени контактного взаимодействия деталей трибосопряжения ко времени измерения [1].

Критерием определения факта наличия контакта является падение электрического сопротивления ниже порогового уровня [2]. Недостатком данного подхода является трудность выбора уровня срабатывания ввиду индивидуальных особенностей условий работы, также теряется диагностическая информация, позволяющая судить о причинах нарушения технического состояния трибосопряжения.

Предложен следующий подход. Для анализа технического состояния трибосопряжения регистрируется его сигнал электрического сопротивления, за время, не менее одного полного оборота, по которому определяется режим трения с помощью дифференциальной функции распределения. Анализ причин возникновения неудовлетворительного состояния производится с помощью спектрального анализа.

Экспериментальные исследования показали, что при граничном режиме трения мода функции нахо-

дится в области низких значений сопротивлений, при жидкостном – в области высоких, при смешанном может возникать двухмодальный закон распределения. Изменяемыми факторами эксперимента являлись: частота вращения, радиальная нагрузка, объем смазочного материала. Планирование эксперимента соответствовало условиям проведения полнофакторного эксперимента, было подтверждено, что данные факторы оказывают существенное влияние на отклик системы.

Анализ функции распределения позволяет не только определить вид режима трения, но и определить процентное соотношение, что может быть использовано при анализе динамики изменения технического состояния и прогнозировании остаточного ресурса.

В области вибродиагностики разработан и широко применяется математический аппарат анализа данных. В ходе эксперимента проводилась одновременная запись сигнала вибрации и сопротивления, анализ спектров сигналов выявил общие характерные составляющие, что позволит применить методы анализа вибросигналов трибосопряжений к сигналу электрического сопротивления с целью выявления причин возникновения неудовлетворительного технического состояния.

По итогам исследований разработан метод диагностирования трибосопряжений на основе анализа сигнала электрического сопротивления.

Список литературы

- 1. Калимуллин Р.Ф. Совершенствование методики оценки качества приработки подшипников коленчатых валов автомобильных двигателей [Текст] / Р.В. Калимуллин, А.П. Фот, Н.Н. Якунин // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2006. – № 9 (59). – С. 335-342.*
- 2. Подмастерьев К.В. Измеритель параметров электрического контактирования ИПЭК-1 [Текст] / К.В. Подмастерьев, Е.В. Пахолкин, В.В. Мишин // Контроль. Диагностика. – 2005. – № 11. – С. 7.*

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫХ МОДУЛЯТОРОВ В ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

Comparative features of the pulse width modulator in closed loop ac motor control systems

П.А. Бурцев, С.А. Канаев, О.В. Москаленко

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва

Проводится сравнительный анализ различных типов широтно-импульсных модуляторов для замкнутых систем управления асинхронными электродвигателями, на основе которого дается качественная оценка влияния на выходные характеристики силового трехфазного инвертора.

Регулируемый асинхронный электропривод с цифровыми системами управления получает все большее распространение в современной промышленности благодаря непревзойденным эксплуатационным свойствам асинхронного электродвигателя. Одним из основных звеньев асинхронного электропривода является широтно-импульсный модулятор, формирующий сигналы управления силовыми ключами инвертора для получения синусоидальных фазных токов с заданной частотой и амплитудой. Одним из наиболее важных показателей качества электропривода при разработке аттестации и сертификации, установленных ГОСТ 13109-97, является степень искажения синусоидальности питающего напряжения. Улучшение спектрального состава выходного напряжения инвертора является в настоящее время актуальной задачей.

Наиболее простой в реализации, даже на аналоговой элементной базе, синусоидальный модулятор, формирует управляющие сигналы транзисторных ключей инвертора посредством наложения несущего треугольного сигнала (8-20 кГц) на опорный синусоидальный сигнал. Для расширения линейного диапазона регулирования индекса модуляции и получения наиболее плоской полуволны без искажений спектрального состава выходного напряжения, в схему синусоидального модулятора интегрируется блок предмодуляции, вводящий в систему управления сигнал нулевой последовательности. Сигнал нулевой последовательности представляет собой третью гармонику опорного сигнала, амплитуда которого составляет 0,25 %. Помимо треугольника, сигнал нулевой последовательности может быть меандром, синусоидой или их комбинацией. Принцип работы дельта модуляторов или систем на базе гистерезисных компараторов, сводится к удержанию фазного тока в рамках сформированного токового коридора, отходящего от задающего сигнала на величину гистерезиса в положительной и отрицательной области. Недостатком дельта модулятора является наиболее искаженный спектр выходного сигнала со множеством субгармоник, и как следствие, более сложная реализация

выходных фильтров. Для компенсации низкого качества модуляции необходимо значительно увеличивать частоту работы ключей силового инвертора в сравнении с синусоидальными модуляторами, что особенно сказывается при работе на малых скоростях, и ограничивает применение. При пространственно-векторной ШИМ определяют граничные вектора, формируемые положением транзисторных ключей. Так как ключи верхнего и нижнего плеча одной стойки работают в противофазе, образуется 8 комбинаций управления, подаваемых на силовой инвертор, из которых два вектора являются нулевыми, коммутирующими обмотки на шину питания или на землю. Остальные граничные вектора образуют 6 рабочих секторов, в пределах которых формируется базовый вектор выходного напряжения. Пространственно-векторная модуляция имеет меньший коэффициент пульсаций выходного синусоидального напряжения, лучший спектральный состав и позволяет улучшить до 20 % коэффициент использования выпрямленного напряжения по сравнению с другими типами модуляторов [1]. Для повышения достоверности моделирования сложных систем, таких как замкнутые системы управления асинхронными электродвигателями с различными типами модуляторов, был разработан стенд на базе цифрового сигнального контроллера TMS320F28335 с ядром C28x, тактовой частотой 150 МГц и сопроцессором арифметики с плавающей точкой. Силовая часть стенда сделана на базе микросборки транзисторных IGBT ключей IRAMY20UP60B, обеспечивающей подключение двигателей до 2 кВт и имеющую гальваническую развязку с платой управления [2]. На базе стенда была получена экспертная оценка характеристик выходного напряжения при разных ШИМ (действующее значение, спектральный состав, регулировочная характеристика, коэффициент пульсаций, коэффициент неравномерности вращения).

Список литературы

1. Бурцев П.А., Канаев С.А., Москаленко О.В. Особенности аппаратной реализации стенда для исследования параметров информационно-измерительных систем управления асинхронными электроприводами, «Вестник молодых ученых МГУПИ» №9., Москва 2011 стр. 5
2. Бурцев П.А., Грушичева М.В., Слепцов В.В. Особенности аппаратной реализации гальванически

развязанных интерфейсов в составе модульных измерительных прецизионных систем и систем управления, Сборник научных трудов по материалам XIV Международной научно-практической

конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения и информатики», Москва 2011, стр.22.

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ, ВХОДЯЩИЙ В СОСТАВ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

The control unit of the asynchronous engine, which is a part of the brake system of the aircraft

М.В. Грушичева, С.А. Канаев, О.В. Москаленко

МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва

М.В. Грушичева – магистр кафедры КБ-6 «Приборы и информационно-измерительные системы», научный руководитель профессор, д.т.н. Слепцов В.В.

Доклад посвящен разработке блока управления тормозным электроприводом на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. В докладе рассматриваются особенности аппаратно-программной реализации блока управления.

В настоящее время в тормозных системах машин [1, 2] и летательных аппаратов [3, 4] получают все большее распространение электропривода. При этом считается, что до 50% всех авиационных происшествий приходится на операцию торможения [5]. Поэтому разработка блока управления тормозным электроприводом, который бы входил в состав тормозной системы самолета и обеспечивал стабильность выходных параметров тормозного электропривода, является важной научно-практической задачей.

В статье рассматриваются проблемы управления электрическим тормозным приводом на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, основная цель которого создание усилия на тормозных колодках с целью их обжатия толкателем для торможения колесом.

Эксплуатация электропривода и разрабатываемого блока управления производится в динамично меняющихся условиях окружающей среды. Так, например, характерным является динамическое изменение температуры в момент основной работы блока управления и управляемого электропривода, вследствие резкого снижения, перед торможением. Эксплуатация происходит в диапазоне от минус 60 до 55 °С. Под действием температуры изменяется момент двигателя и создаваемое усилие обжатия колодок всей тормозной системы, при этом высокая температура на колодках, создаваемая трением при торможении, не допускает установку датчика усилия непосредственно на колодку. Таким образом, разработка блока управления тормозного электропривода осложняется тем, что он входит в состав системы разомкнутого типа, при этом, является потребителем первой категории и должен обес-

печивать высокую точность и повторяемость выдаваемого усилия.

Разработка блока управления тормозным электроприводом производилась с учетом требований импортозамещения. Вся заложенная элементная база отечественного производства. Основным элементом блока управления является микроконтроллер 1986BE1T фирмы АО «ПКК Миландр». Аналоговая часть управления силовыми ключами выполнена с использованием отечественных двухканальных драйверов затворов МОП транзисторов высоковольтного полумоста 1308EУ3АУ фирмы ЗАО «Группа Кремний Эл», которые обеспечивают управления транзисторной парой на базе 2П767В2 фирмы АО «Воронежский Завод Полупроводниковых Приборов – Сборка». Для блока управления реализован интерфейс связи CAN на базе микросхемы 5559ИН14АУ фирмы АО «ПКК Миландр». При проектировании блока управления особое внимание уделялось обеспечению требований электромагнитной совместимости. Внутри блока реализована гальваническая развязка силовой части блока и логической

Повышение метрологических характеристик системы в составе блока управления и тормозного электропривода обеспечивается за счет индивидуальной калибровки каждого образца блока. Калибровка блока осуществляется в автоматизированном режиме, под управлением ПК.

Список литературы

- 1. Асанов А.З. Архитектура бортовых информационно-управляющих систем роботизированных большегрузных магистральных автомобилей // Российский технологический журнал. 2017. Т. 5. № 3. С. 106-113.*
- 2. Таржанов И.В. Возможности снижения энергозатрат приводов робота на этапе проектирования // Российский технологический журнал. 2016. № 3. С. 466-471.*

3. Ланцев В.Ю. Особенности управления электроприводом тормоза шасси БПЛА [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://alley-science.ru/domains_data/files/65June20185/OSOBEN%20UPRAVLENIYa%20ELEKTROPRIVODOM%20TORMOZA%20ShASSI%20BPLA.pdf – дата обращения: 20.04.2019.

4. Ланцев В.Ю. Синтез системы управления приводом тормоза шасси БПЛА // Символ науки. – Уфа: Омега сайнс, 2018. – №4 – С.19-28.

5. Сушков Ю.А. “Метод и модель безопасного захода воздушного судна на посадку на основе построения оптимальной посадочной траектории”, диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Тамбов, 2009г.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ПРИВОДА С ДИАМЕТРАЛЬНОЙ ЛОПАСТНОЙ МАШИНОЙ И УПРАВЛЯЮЩИМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ

Construction of a mathematical model of a gas-dynamic drive using the kinetic energy of the incident flow

Е.Н. Кутейникова, В.И. Лалабеков, С.Л. Самсонович

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

*Е.Н. Кутейникова – аспирант кафедры «702»,
научный руководитель д.т.н., профессор С.Л. Самсонович*

Рассматриваются вопросы построения математической модели газодинамического привода с диаметральной лопастной машиной и управляющим электродвигателем. Проведен анализ статических и динамических работы двух диаметрально расположенных приводов.

Общие тенденции в развитии авиационной и ракетной техники свидетельствуют об ужесточении требований к рулевым приводам, включая требования к массогабаритным показателям и к удельной мощности. Несмотря на многообразие электрических и пневматических приводов их массогабаритные и мощностные характеристики зависят от аналогичных параметров источников энергии. Благодаря использованию энергии набегающего потока, появилась возможность обойти это ограничение.

Одно из схемных решений, позволяющих использовать кинетическую энергию набегающего потока представлено в патенте [1]. Оно включает в себя рабочее колесо, жестко связанное с управляемым электродвигателем, воздухопровод, каналы сброса и забора воздуха. Рабочее колесо представляет собой диаметрально лопастную машину, а управление осуществляется путем изменения скорости вращения рабочего колеса, которое обуславливает изменение значения вектора тяги истекающего потока.

Вопросы проектирования и применения предложенной схемы привода в современной отечественной и зарубежной литературе отсутствуют или рассмотрены лишь фрагментарно [2]. На этом основании решение проблемы по созданию такой приводной системы является актуальным и имеет важное практическое значение. Исследование проводилось в два этапа. На первом рассмотрены газодинамические процессы на рабочем колесе и их влия-

ние на тягу и лобовое сопротивление, на втором рассмотрена работа всего привода в качестве контура системы управления.

Первый этап работы был проведен с помощью численного моделирования. Были получены основные геометрические зависимости для рабочего колеса и информация о свойствах течения в воздухопроводе [3]. Полученной информации недостаточно для проектирования приводного контура, поэтому на втором этапе рассмотрено аналитическое описание работы привода и исследование математической модели, которое проводилось в среде Matlab Simulink.

Математическая модель строилась на следующих допущениях: течение газа является установившимся, поток изоэнтропичен. Модель состоит из двух частей: первая описывает работу электродвигателя, вторая процессы в рабочем колесе. Для построения модели использовались уравнения: неразрывности потока; сохранения энергии; баланса взаимодействующих сил между электродвигателем и рабочим колесом. Проводилось моделирование работы двух приводных каналов диаметрально расположенных аэродинамических поверхностей при следующих условиях. На каждый из двигателей подавался сигнал противоположного знака: если в первом канале поток разгоняется за счёт действия на электродвигатель отрицательного импульса, то во втором канале синфазно первому поток должен тормозиться за счёт действия на электродвигателя положительного импульса. В этом режиме создается максимальная суммарная тяга, формирующая максимальную амплитуду управляющего момента относительно центра масс ЛА.

Полученные результаты показали, что без коррекции время переходного процесса изменения тяги от 0 до максимального значения равно 0,3 с.

Построенная математическая модель позволяет оценить статические и динамические характеристики приводной системы без натурного испытания.

Список литературы

1. Самсонович С.Л., Фимушкин В.С., Никаноров Б.А., Кутейникова Е.Н. и др. Патент РФ №2634609. Способ управления беспилотным летательным аппаратом, и блок рулевых приводов для его осуществления. Оpubл.01.11.2017 г.

2. Самсонович С.Л., Лалабеков В.И., Кутейникова Е.Н. Построение газодинамического привода, использующего кинетическую энергию набегающего потока. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 12-4, с.61-70

3. Кутейникова Е.Н., Самсонович С.Л. Численное моделирование диаметральных лопастных машин и их применение в ЛА // Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации: Сборник трудов XXVI международной научно-технической конференции, 14-20 сентября 2017 г., Алушта. –М.: ИД «МЕДПРАКТИКА-М», 2017, 216 с.

СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Circuit modeling of automated electric drives

В.В. Слепцов, А.Е. Аблаева, Динь Ба Фыонг, А.С. Комаров, А.А. Трошин

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва

Динь Ба Фыонг – аспирант кафедры «Приборы и информационно-измерительные системы», научный руководитель профессор В.В. Слепцов, А.С. Комаров – магистрант кафедры «Приборы и информационно-измерительные системы», научный руководитель доцент В.П. Орлов, А.А. Трошин – магистрант кафедры «Приборы и информационно-измерительные системы», научный руководитель доцент В.П. Орлов

В работе представлены результаты исследований влияния режима широтно-импульсной модуляции на пульсации в переходных процессах. Приведены рекомендации по выбору частоты ШИМ для уменьшения пульсаций скорости до допустимого уровня.

Автоматизированный электропривод (АП) является энергетической основой автоматизации технологических процессов, особенно широко он применяется в гибком автоматизированном производстве, входя в состав промышленных роботов, станков с ЧПУ, лазерных технологических установок, робокар.

Так как характеристики вышеперечисленных технологических машин во многом зависят от используемых АП, то анализу их технических характеристик посвящено много работ [1 - 3], разработан ГОСТ 27803-91 «Электроприводы регулируемые для металлообрабатывающего оборудования и промышленных роботов. Технические требования». Несмотря на проводимые работы по исследованию АП, анализ их характеристик представляет серьезную проблему. Поясним это на примере исследования АП с электродвигателем постоянного тока типа 4МИ12Ф3, сервоусилителем ПРШ-102, тахогенератором ТГП-5 (контур тока настроен на технический оптимум, а контур скорости – на симметричный оптимум) [4]. Из условий соответствующей настройки определяются параметры регуляторов скорости и тока.

Исследование АП проводилось путем подачи ступенчатого сигнала задания скорости $U_{зс}$ различной

величины на вход математической модели и анализа реакции на эти сигналы.

Исследование проводилось для 2-х видов математических моделей: первая модель традиционная, не учитывающая режим широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [5]; вторая модель позволяет рассматривать схемотехническую реализацию АП и учитывает режим широтно-импульсной модуляции [6].

При сравнения тахограмм в идеализированной и схемотехнической моделях АП при входных сигналах ($U_{зс}$) равных 0,01 В; 0,1 В; 1 В; 10 В было выявлено, что учет режима ШИМ существенно увеличивает пульсации в переходных процессах, особенно при малых сигналах $U_{зс} \leq 0,1$ В, сохраняя их общий вид.

Полученный результат очень важен, особенно для электроприводов прецизионных технологических машин.

В схемотехнической модели пульсации скорости при увеличении частоты ШИМ в 3 раза значительно уменьшились (\sim в 3 раза), тахограмма в идеализированной модели при уменьшении постоянной времени усилителя (T_u) практически не изменилась, что связано с тем, что в T_u в любом варианте значительно меньше электромагнитной постоянной электродвигателя ($T_{эм}=0,005$ с).

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. При исследовании электроприводов прецизионных технологических машин необходимо учиты-

вать работу усилителей мощности в режиме ШИМ, вызывающей пульсации в переходных процессах.

2. Для уменьшения пульсаций скорости до допустимого уровня (~ 5% от минимальной скорости) следует выбирать частоту ШИМ $f \geq (15/T_{эм})$.

Список литературы

1. Слепцов В.В., Аблаева А.Е. Анализ технических характеристик электроприводов промышленных роботов для дуговой сварки. Сборник: Новая наука как результат инновационного развития общества. Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2017, с.69-71.

2. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: Учебник для студентов высших учебных заведений – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 304 с.

3. Боровин Г.К., Слепцов В.В. Математическое моделирование электроприводов постоянного тока мехатронных систем. Межотраслевой научно-технический сборник ВНИИМИ «Технология», серия «Гибкие производственные системы и робототехника», №3-4, Москва, 1993, с. 62-68.

4. Обработка оборудования нового поколения. Концепция проектирования. / В.Л. Афонин и др.; Под ред. В.Л. Афонина. М.:Машиностроение, 2001. – 256 с.

5. Справочник по автоматизированному электроприводу/ Под редакцией В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. М.: 1983. – 616с.

6. Боровин Г.К., Слепцов В.В. Исследование контуров тока в следящих электроприводах методом схемного моделирования. Препринт ИПМ им.М.В.Келдыша, №24 за 1986 г., 20 с.

ЦИФРОВОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ДВУХФАЗНЫМ ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Digital control system for two-phase brushless DC motor

Е.А. Дунич, С.С. Пенкин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва

Е.А. Дунич, С.С. Пенкин – аспиранты кафедры «Системы приводов авиационно-космической техники», научный руководитель профессор каф. 702 А.В. Кривилёв

Предлагается цифровое устройство управления двухфазным вентильным двигателем с четырёхсекционной обмоткой, реализованное на ПЛИС. Устройство основано на секционном подходе и позволяет с помощью настраиваемых параметров выбирать метод коммутации секций и способ импульсного управления.

Энергоэффективные алгоритмы управления современными электрическими двигателями могут быть реализованы на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) [1] и с помощью микроконтроллеров. Первый вариант более предпочтителен, так как обеспечивает параллельное формирование сложных функций на максимальной возможной скорости.

В докладе представляется разработанное цифровое устройство управления (ЦУУ), описанное на языке SystemVerilog и реализованное на ПЛИС фирмы Intel FPGA. ЦУУ коммутирует ключевые элементы (КЭ) четырёхстоечного импульсного усилителя мощности (ИУМ) для обеспечения вращения четырёхсекционного [2] двухфазного вентильного двигателя (ВД) в заданном направлении с заданной скоростью.

ЦУУ состоит из следующих блоков:

- блок загрузки кода управления (БЗКУ);
- блок формирования логических переменных (БФЛП);

- блок приёма сигналов о положении ротора (БПСРП);

- блок формирования управляющих булевых функций (БФУБФ);

- блок формирования паузы на переключение ключевых элементов усилителя мощности (БФП).

БЗКУ служит для загрузки кода управления, содержащего желаемое направление и необходимую скорость вращения. С помощью параметра можно настроить блок на приём прямого, обратного или дополнительного кода. Выход БЗКУ соединён со входом блока БФЛП.

БФЛП предназначен для формирования на основе кода управления логических переменных DR, PR и SP. Логическая переменная DR (Direction) обозначает желаемое направление вращения, SP (SPeed) - ШИМ-сигнал, коэффициент заполнения которого пропорционален желаемой скорости, и PR (PRoportional) - равномерную загрузку КЭ по току. В ряде методов импульсного управления переменная PR не используется. Параметры блока позволяют настраивать тип ШИМ-сигнала и его частоту. Выход БФЛП поступает на вход БФУБФ.

БПСРП обеспечивает синхронную запись цифровых сигналов о положении ротора. В докладе рассматривается случай датчика положения ротора на основе двух датчиков Холла, которые формируют цифровые сигналы Н1 и Н2, сдвинутые друг отно-

сительно друга на 90 градусов и четырёх, сдвинутых на 45 градусов. После записи этих сигналов в БФСР они поступают на вход блока БФУБФ. БФУБФ формирует восемь УБФ U_1, U_2, \dots, U_8 , реализующих поочерёдный метод импульсного управления с учётом коммутации секций обмотки двухфазного вентильного двигателя. С помощью настраиваемых параметров можно выбирать требуемый вариант коммутации (раздельный, совместный или комбинированный). Выход БФУБФ связан с БФП.

БФП служит для исключения возникновения сквозных токов вследствие переключения ключевых элементов в стойке усилителя мощности. Параметрами блока являются число стоек и длительность паузы. Выход БФП является выходом ЦУУ.

Определена логическая ёмкость ЦУУ при рассмотренных вариантах коммутации секций, она составила около 1200 логических элементов.

Полученное описание на языке SystemVerilog может быть использовано при разработке новых циф-

ровых приводов с многофазными многосекционными вентильными двигателями, а также при разработке новых микроконтроллеров, где одним из периферийных блоков является блок ЦУУ соответствующим двигателем.

Список литературы

1. Кривилев А.В. Разработка и реализация на ПЛИС энергоэффективных способов импульсного управления системами «усилитель мощности — электродвигатель» на основе методов автоматизированного проектирования. Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук: — 05.09.03. М.: 2013 г. 522 с.

2. Кривилев А.В., Дунич Е.А., Пенкин С.С. Секционный подход к получению статических характеристик двухфазного вентильного двигателя. Общероссийская научно-практическая конференция «Вопросы инновационного развития аэрокосмического комплекса России», март 2019 г., Москва, МАИ.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НА ПРИМЕРЕ СКАЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Electric power on the example of scalar control system

Д.Ю. Кукишев

ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»
факультет автоматизации и информатики

Д.Ю. Кукишев – аспирант кафедры «Электропривода»,
научный руководитель доктор т.н., профессор Мещеряков В.Н.

На сегодняшний день в ПАО «НЛМК» более 2000 подъемно-транспортных механизмов, из них немалую долю составляют конвейеры. Большинство конвейеров характеризуются повторно-кратковременным режимом ($PB=25..40$), частыми пусками и торможениями, широким изменением нагрузок, а значит, двигатель может работать в недогруженном состоянии, а значит с меньшим КПД.

Цель: Моделирование типовой скалярной система управления с векторной корректировкой тока статора АД КЗ. Данная система управления позволит существенно уменьшить ток статора, обеспечивающий заданный момент двигателя, за счет поддержания угла между током статора и потокосцеплением ротора равным 42...55 градусам.

В типовой скалярной системе управления при изменении нагрузки на валу двигателя угол между током статора и потокосцеплением ротора изменяется в широком диапазоне, в зависимости от нагрузки.

Оптимальное значение угла в предлагаемой системе обеспечивается за счет работы двух коррекций, влияющих на напряжение на преобразователе частоты:

коррекция сравнивающая намагничивающую и моментобразующую проекции тока статора; поисковый алгоритм, работающий при малых отклонениях поддерживаемого угла от оптимального значения.

Исследования показали, что ток статора из системы с коррекциями меньше, чем из системы без коррекции. Чем меньше момент M_c , тем больше разница в токах. При $M_c=M_n$ ток статора снижается на 1%, а при $M_c=0,2M_n$ ток статора уменьшается почти вдвое.

На основе вышеизложенного текста можно сделать вывод, что применение данной системы управления позволит существенно уменьшить ток статора, обеспечивающий заданный момент двигателя, в зависимости от нагрузки на валу, от 1 до 45%.

Список литературы

Левин П.Н. Частотный асинхронный электропривод с поддержанием взаимного положения векторов тока статора и потокосцепления ротора: дис.

канд. техн. наук: 05.09.03/ ЛГТУ. Липецк, 2005. 125с.

Синюкова Т.В. Системы частотного асинхронного электропривода с корректирующими элементами и прямым управлением моментом: дис. канд. техн.

наук: 05.09.03/ ЛГТУ. Липецк, 2015. 166с.

RU 2528612 С2. Электропривод переменного тока с использованием преобразователей постоянного тока в переменный или инверторов / В.Н. Меццержаков, А.И. Бойков, О.А. Меццержакова.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ В ПРЕЦИЗИОННЫХ ИТЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Automation of the process of identification of nonlinearities in precision iterative systems

А.А. Попов, С.А. Хризолитова

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

А.А. Попов – студент каф. управления и информатики,
научный руководитель доцент С.А. Хризолитова

В рамках работы был разработано программное обеспечение, основанное на исследовании влияния нелинейных элементов на точный контур итерационной системы.

В условиях всё повышающихся требований к точности и быстродействию встаёт вопрос о способах достижения требуемых параметров системы. Даже использование прецизионных итерационных следящих систем в скором времени перестанет удовлетворять их. Для повышения качества управления предлагается процесс идентификации нелинейностей в прецизионных системах автоматизировать. При помощи коэффициентов гармонической линеаризации можно построить частотные характеристики нелинейной системы, по виду которых производится идентификация вида нелинейного элемента, места его включения и определение параметров той или иной нелинейности.

На основе результатов проведённых исследований нелинейной системы было решено создать программное обеспечение по идентификации нелинейностей в системе. В качестве среды разработки был выбран Matlab. Данная среда была выбрана с учётом нескольких критериев:

1. В качестве среды программирования должен использоваться один из программных пакетов, установленных на рабочих станциях лаборатории кафедры Управления и Информатики МЭИ.
2. Выбранные инструментальные средства должны обеспечивать удобство использования в ходе разработки
3. Для повышения качества разработки и уменьшения времени разработки инструментальные средства должны быть подобраны таким образом, чтобы разработчики имели достаточный опыт работы с этими инструментами.
4. Инструментальные средства должны обеспечить организацию удобного интерфейса, кото-

рый позволит конечному пользователю использовать весь необходимый функционал (GUI).

Разработанное программное обеспечение (ПО) дает возможность исследовать влияние нелинейных элементов на динамику системы и позволяет автоматизировать процесс идентификации нелинейных прецизионных многоканальных электромеханических следящих систем.

Весь функционал программы реализован в одном окне: и исследование, и идентификация. Предусмотрена возможность ввода различных параметров, как линейной части, так и нелинейного элемента. В программе осуществляется идентификация по двум алгоритмам, для одной нелинейности и для спаренных нелинейностей в различных точках системы. Созданное программное обеспечение может использоваться для лабораторного практикума студентов, которые в ходе выполнения работ ознакомятся с фрагментами создания автоматизированного рабочего места АРМ для исследования сложных инвариантных систем управления.

Список литературы

Теория автоматического управления: Учеб. для вузов по спец. «Автоматика и телемеханика». В 2-х ч. Ч. II. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления. / А. А. Воронов, Д. П. Ким, В. М. Лохин и др.; Под ред. А.А. Воронова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986

Теория систем автоматического регулирования. Издание третье, исправленное. Бесекерский В.А./ Попов Е. П., издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, М., 1975.

Следящие приводы том 1 / Е.С. Иванов, Ю.В. Илюхин, В.Ф. Казмиренко, О.С. Козлов, В.С. Медведев, Ю.А. Николаев, Ю.А. Петров, В.П. Петухов, Ю.Н. Семенов, Л.А. Сенько, Б.К. Чемоданов. Под ред. Б.К. Чемоданова. 1999.

ПРОБЛЕМЫ КОМПОНОВКИ УПРАВЛЯЕМОГО МНОГООБОРОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЗАДВИЖКИ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Problems of configuring controlled multi-turn electric drive valves pipeline transportation

В.А. Крюков, А.В. Плясов, А.Н. Поликарпов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюльский государственный университет»

В электроприводах задвижек трубопроводного транспорта размещаются механические передачи зацеплением, информационные механизмы, датчики и электродвигатель с системой управления и тормозом, которые не так просто расположить вокруг подвижного шпинделя клиновой или шиберной задвижки. К рассмотрению предлагается анализ многооборотных приводов на базе планетарных передач $3k-2g-h$ и $2k-h$ с большими передаточными отношениями, в которых при определенных условиях синтеза можно реализовать внутри входного вала центральное отверстие для прохода шпинделя.

В Тюльском государственном университете на протяжении трех лет по техническому заданию Мичуринского завода «ПРОГРЕСС» на базе двух кафедр «Проектирование механизмов и деталей машин» и «Приборы управления» под руководством проф., д.т.н. Сидорова П.Г. и проф., д.т.н. Распопова В.Я. выполнялась хозяйственная работа. Эта работа имела элементы поиска конструкторских решений компоновки механики и электроники путем анализа существующих в промышленности решений, но и богатейшего опыта в проектировании этих элементов на кафедрах. Для объективной оценки были привлечены сторонние организации, разработавшие альтернативные приводы с едиными установочными и присоединительными размерами на базе не только планетарных передач и асинхронного электропривода. Изготовленные на основе разработанных чертежей опытные образцы электроприводов прошли успешные испытания. Такое научно-техническое мероприятие прошло благодаря руководству Мичуринского завода «ПРОГРЕСС», получившее финансирование по гранту на основании Постановления Правительства РФ №218. Дальнейшее совершенствование управляемого электропривода зависит от внедрения в нефтегазовую промышленность.

Использование новой двухступенчатой планетарной передачи $3k-2g-h$ [1], разработанной на кафедре «Проектирование механизмов и деталей машин» будет оправдано, если её сравнить с аналогичными планетарными передачами, у которых в тех же габаритах можно реализовать центральное отверстие для шпинделя, передаточное отношение и встраиваемость датчиков, информационного вала. Для сравнения предлагается рассмотреть только планетарные передачи, которые в отличие от многих других известных промышленности позволяют получить привод в виде колонны (мотор-колесо). А именно будет рассмотрена планетарная передача

$2k-h$ с двумя внешними зацеплениями, у которой входным звеном является звено – водило, приводящее в движение оси сателлитов. Сателлиты имеют близкое число зубьев к числу зубьев центральных колес для обеспечения равной прочности зубьев и подшипников сателлитов по времени эксплуатации. Опорное (остановленное) центральное колесо, установленное через подшипник качения в корпусе, сопрягается с датчиками силы для оценки крутящего момента на выходном валу. Т.к. в отличие от схемы $3k-2g-h$ опорное колесо в предлагаемой схеме примерно в два раза меньше по числу зубьев, то размещение датчиков возможно внутри, а не снаружи, тем самым можно скрыть провода. Проблему монтажа водила предлагается решить за счет базирования на информационном валу, закрепляемом на фланце выходного вала с кулачковым профилем. При этом асинхронный электродвигатель с пустотелым валом был разработан на кафедре «Приборы управления» и изготовлен на Владимирском заводе.

Хотя кто-то может заметить, почему взята не схема $2k-h$ с двумя внутренними зацеплениями? Она имеет больше запас прочности. Это обоснованно недостатками по отношению к схеме $3k-2g-h$ [1]: невысоким передаточным отношением при многосателлитном исполнении, размещением датчика силы и равной прочности зубчатых колес с внешними и внутренними зубьями. Для точного анализа работы на первых этапах проектирования управляемого электропривода задвижки была использована современная специализированная программа компании KissSoftAG. В её состав входят модули для расчета KissSoft: передач, валов и подшипников, которые могут быть объединены между собой посредством обмена данными, реализованного в модуле KissSys. Для удобства в KissSys мы добавляем элементы привода: центральные колеса, сателлиты, водило и подшипники, между которыми указываем кинематическую и силовую взаимосвязь с помощью зацеплений и опор. Назначается, например, способы приложения электромагнитных сил на роторе двигателя, сил в муфте и зацеплениях. Оценка прочности элементов осуществляется на разных режимах, т.к. клин или шибер сдвигается с седла при открытии или осуществляется при закрытии опрессовка. При этом остальное основное время сопротивление движению шпинделя с клином или шибером минимизировано. Падение или рост скорости зависит от длительности простоя

задвиги в открытом или закрытом состоянии. Поэтому требуется тщательная проработка совместно с предприятиями и в короткое время без привлечения на первых этапах натуральных образцов как управляемого многооборотного электропривода, так и задвиги.

СПОСОБ ПЛАВНОГО ПУСКА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Method of the soft start of induction motor with phase rotor

В.Н. Мещеряков, А.И. Бойков, В.В. Пикалов

Липецкий государственный технический университет

В статье предложена система электропривода переменного тока на базе асинхронного электродвигателя с фазным ротором, реализующая управление двигателем по цепи ротора, обеспечивающая стабилизацию пускового тока и момента электродвигателя при пуске.

В современном производстве часто встречаются электропривода построенные на база асинхронного электродвигателя с фазным ротором. Управление ими как правило реализуется на базе различных параметрических систем запуска зачастую без возможности регулирования скорости, таких как: реостатный пуск, реакторный пуск, импульсное регулирование сопротивления роторной цепи. Они позволяют реализовать требуемый темп разгона и ограничить пусковые токи, однако для них характерны большие потери энергии при пуске, перенапряжения, возникающие в роторе и приводящие к межвитковому короткому замыканию, низкий коэффициент мощности [1].

При проведении модернизации систем электропривода для уменьшения ее стоимости зачастую, ротор электродвигателя с фазным ротором закорачивают а в цепь статора включают двухзвенный преобразователь частоты, способный обеспечить оптимальное управление двигателем. Однако преобразователь частоты генерирует на статор несинусоидальное напряжение, приводящее к возникновению высших гармоник тока, что негативно сказывается на сроке службы асинхронного электродвигателя с фазным ротором, рассчитанного на питание от промышленной сети. Помимо выше изложенного преобразователь частоты искажает форму тока питающей сети, что может негативно сказаться на других потребителях. Более экономичные системы асинхронно-вентильного каскада не получили широкого распространения для электроприводов с повторно-кратковременным режимом работы.

Вследствие выше изложенного остается актуальной задача совершенствования систем регулируемого электропривода на базе электродвигателя с фазным ротором в направлении создания гибридных систем частотно-параметрического управления [2].

Авторами была разработана и исследована система асинхронного электропривода с частотно-

Список литературы

1. Сидоров, П.Г. Многопоточные зубчатые трансмиссии. Теория и методология проектирования / П.Г. Сидоров, А. А. Пашин, А. В. Плясов // под общ. ред. П.Г. Сидорова. – М.: Машиностроение, 2011. – 340 с: ил. - Библиогр.: с. 332-335.

параметрическим регулятором в цепи ротора, подключенном через вентильные элементы и обеспечивающим стабилизацию пускового момента и плавный разгон асинхронного электродвигателя с возможностью дальнейшего регулирования скорости [3, 4]. Из полученных результатов исследования можно сформировать следующие выводы:

Обеспечение постоянства момента при пуске электродвигателя.

Она достаточно проста и надежна, т.к. регулируется один параметр частота тока на выходе инвертора. Следует учитывать, что в зависимости от значения статического момента изменяется верхний предел задания частоты.

Снижение потерь электроэнергии в роторной цепи по сравнению с классическими параметрическими системами

Индукционное сопротивление имеет меньшие габаритные показатели чем классическое активное сопротивление, что является преимуществом перед системами электропривода с широтно-импульсным коммутатором в звене постоянного тока.

Возможна работа на пониженной скорости, однако это приводит к увеличению потерь на ИС.

Статья написана при поддержке гранта РФФИ № 19-48-480001 «Разработка, исследование и оптимизация энергосберегающих электротехнических и электроприводных автоматизированных комплексов для плазменных, электротехнологических и индукционных технологий и агрегатов».

Список литературы

1. Hengameh Kojooyan-Jafari, Lluis Monjo, Felipe Cotrcoles, Joaquin Pedra Parameter Estimation of Wound-Rotor Induction Motors From Transient Measurements // IEEE Transactions on Energy Conversion. 2014. V. 10. № 2. P. 300–308.
2. Пат. №2661343 Российская Федерация, МПК H02P 7/63. Способ управления асинхронным двигателем с фазным ротором / Мещеряков В.Н., Бойков А.И., Ласточкин Д.В.; заявитель ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет». опубли. 17.07.2018.
3. Мещеряков В.Н., Бойков А.И., Ласточкин Д.В. Система плавного пуска асинхронного двигателя с

фазным ротором // *Электротехнические системы и комплексы*. 2019. № 1(42). С. 24-29.

4. Мещеряков В.Н., Бойков А.И., Пикалов В.В., Муравьев А.А., Ласточкин Д.В. *Электропривод на базе*

асинхронной машины с индукционным сопротивлением в цепи ротора, подключенным через вентиляционные элементы // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2019. № 2. С. 60-66.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ГАЗОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РУЛЕВОГО ПРИВОДА С УЧЁТОМ И БЕЗ УЧЁТА ЗАВИСИМОСТИ ЖЁСТКОСТИ ОРГАНА УПРАВЛЕНИЯ ОТ ДАВЛЕНИЯ В ДВИГАТЕЛЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Comparative analysis of the operation of the gas-hydraulic steering gear with and without account for the dependence rigidity of the control from the pressure in the engine aircraft

В.И. Лалабеков

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

В.И. Лалабеков, д-р техн. наук, проф., Lalabekov.Valentin@yandex.ru,
(Россия, Москва, МАИ),

Представлены математическая модель и результаты исследования процессов, протекающих во взаимосвязанной системе «твёрдотопливная двигательная установка – поворотное управляемое сопло – эластичный опорный шарнир – газогидравлический привод» с учётом и без учёта функциональной зависимости жесткости опорного шарнира от давления в двигателе. Показана возможность повышения эффективности летательного аппарата за счёт учёта при проектировании особенности в работе элементов исследуемой системы.

В работе [1] представлены результаты исследования взаимодействия газогидравлического рулевого привода (ГГРП) с эффективным органом управления - поворотного сопла, соединённого с корпусом ракетного двигателя на твёрдом топливе (РДТТ) через эластичный опорный шарнир (ЭОШ). Показано, что существует обратная зависимость жёсткости ЭОШ $S_{эош}$ от давления РДУ газа в РДТТ.

Разработана объединённая ММ, позволяющая исследовать процессы во взаимосвязанной системе «РДТТ-ГГРП-ЭОШ» с ЭОШ, в которой жёсткость ЭОШ использована для двух случаев: $S_{эош}=S_{эоштmax}$ и $S_{эош}=f(P_{ДУ})$.

Показано, что изменение жёсткости с S_{max} до S_{min} на участке запуска при подъёме давления и с S_{min} до S_{max} после окончания работы топлива на участке спада давления в РДТТ не обеспечивает пропорционально изменению жесткости (нагрузки на штоке рулевых машин (РМ)) изменение амплитуды отработки командного сигнала РМ (10% уве-

личения жесткости - нагрузки приводит только к 4,5% уменьшению амплитуды периодического движения штока РМ).

Явление инвариантности реакции в отработке штоком РМ командного сигнала на изменение жёсткости ЭОШ и увеличения нагрузки на РМ обусловлено аккумуляционным действием газовых объёмов твёрдотопливного газогенератора (ТГ) и вытеснителя газо-гидравлического преобразователя (ГГП) источника энергии ГГРП.

Результатами математического моделирования подтверждена целесообразность в составе РДТТ с ПУС и ЭОШ применения ГГРП, с использованием в энергетическом тракте источника энергии, состоящего из ТГ и ГГП с вытеснительной подачей рабочей жидкости к РМ из-за демпфирующего свойства газового объёма.

Разработанная математическая модель может быть рекомендована при анализе и параметрическом синтезе ГГРП и РДТТ на этапе проектно-конструкторских работ по созданию перспективных образцов.

Список литературы

1. Константинов С.В., Лалабеков В.И., Оболенский Ю.Г. *Математическая модель газогидравлического рулевого привода управления поворотным соплом твёрдотопливной двигательной установки с эластичным опорным шарниром. Авиационная техника*, №3, 2017г.

ШИМ – ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С КОМБИНИРОВАННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

PWM – converters with a combined control

А.С. Полетаев

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

А.С. Полетаев – аспирант кафедры "306 Микроэлектронные электросистемы",
научный руководитель профессор Д.А. Шевцов

Известными способами управления широтно-импульсными преобразователями (ШИП) являются управление по напряжению и подчиненное управление по току дросселя. Предложены три способа комбинированного управления, сочетающие достоинства упомянутых методов.

До недавнего времени основными способами управления широтно-импульсными преобразователями (ШИП) были управление по напряжению и подчиненное управление по току дросселя [1]. Достоинство первого способа – это относительно простая схемотехническая реализация. Недостатки управления по напряжению: плохая динамика, необходимость введения дополнительного автономного контура ограничения переходных и аварийных токов. Применение подчиненного регулирования позволяет существенным образом улучшить динамические характеристики ШИП при несущественном усложнении схемы управления и защиты. Кроме того, такое управление позволяет обойтись без отдельного автономного контура ограничения переходных и аварийных токов т.к. внешний управляющий контур по напряжению является задающим для внутреннего подчиненного токового контура [2,3]. Основным недостатком такого способа управления является нестабильная работа в режиме безразрывных токов при коэффициенте заполнения импульсов (КЗ), большим или равном 0,5, т.е. возникновение субгармонических автоколебаний несмотря на выполнение условия устойчивости по Найквисту.

На современном этапе развития преобразовательной техники наиболее широкое применение нахо-

дят комбинированные методы управления, сочетающие в себе достоинства двух предыдущих и практически не требующие усложнения схемотехники. Комбинированное управление может быть реализовано одним из следующих способов:

- 1) Сигнал ГПН суммируется с сигналом датчика тока (ДТ) и подается на опорный вход компаратора ШИМ (КШИМ), при этом на управляющий вход КШИМ поступает выходной сигнал УСР.
- 2) Выходной сигнал УСР суммируется с инвертированным сигналом ДТ и подается на управляющий вход КШИМ, при этом на опорный вход КШИМ подается сигнал ГПН.
- 3) Сигнал ДТ подается на инверсный вход УСР через дифференцирующую RC-цепь, при этом же вход УСР поступает и сигнал обратной связи с датчика выходного напряжения. Необходимость в введении ГПН также отпадает. Последний способ реализации комбинированного управления является наиболее целесообразным, так как позволяет использовать стандартные ШИМ – контроллеры (например UC1825, UC1842).

Список литературы

1. Белов Г. А. Динамика импульсных преобразователей. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. гос. ун-та, 2001. – 528 с.
2. П. Четти. Проектирование ключевых источников электропитания: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1990, – 240 с.
3. FranzZach. Leistungselektronik. EinHandbuchBand 1. 5., überarbeiteteundweitererteAuflage. Wien: SpringerVieweg, 2015.

Секция 7. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ АВИАКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ПОСТРОЕНИЯ И ВЫБОР ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ЭЛЕКТРОРАКЕТНЫМИ ДВИГАТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Study of construction schemes and selection of design solutions for small spacecraft with electric propulsion units

В.М. Кульков, Ю.Г. Егоров, С.О. Фирсюк

Научно-исследовательский институт прикладной механики и электродинамики
Московского авиационного института
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

*В.М. Кульков, Ю.Г. Егоров – Научно-исследовательский институт прикладной механики
и электродинамики Московского авиационного института,
С.О. Фирсюк – Московский авиационный институт*

Рассматриваются схемы построения малых космических аппаратов (МКА) с применением электроракетных двигателей (ЭРД) малой мощности. Представлены концептуальные проекты малых космических аппаратов с электроракетными двигательными установками (ЭРДУ) разных типов. Исследование проектных решений перспективных МКА с ЭРД малой мощности позволяет получить рекомендации для выбора проектного облика и характеристик ЭРДУ.

Наблюдающийся сейчас в мире значительный интерес к электроракетным двигателям (ЭРД) малой мощности обусловлен быстрым развитием малых космических аппаратов (МКА), способных решать широкий круг научных и прикладных задач в космосе. Многообразии задач и областей применения МКА предопределяет широкий спектр требований к ЭРД в обеспечение необходимых условий для эффективного выполнения целевой задачи.

В настоящее время для малоразмерных космических аппаратов проектируются ЭРД сверхмалой и малой мощности от единиц до сотен ватт, имеющие приемлемые значения массы и габаритов электроракетной двигательной установки (ЭРДУ). В качестве кандидатов для использования в составе ЭРДУ МКА рассматриваются ионные двигатели (ИД), стационарные плазменные двигатели (СПД) и импульсные плазменные двигатели (ИПД), обладающие высоким удельным импульсом, возможностью изменения в широких пределах выходных тяговых характеристик, малым единичным импульсом тяги. Из всех типов ЭРД наиболее отработаны и часто используются в ЭРДУ МКА ионные и холловские плазменные двигатели благодаря своим относительно высоким эксплуатационным характеристикам, таким, как удельный импульс, КПД и ресурс [1].

Обоснование возможности использования малых

космических аппаратов с ЭРД в составе околоземных космических систем связано с разработкой проектно-конструкторских принципов создания МКА с ЭРД. Исследование проектных решений МКА с ЭРД малой мощности с повышенной тяговой эффективностью предполагает построение комплекса проектных моделей для их параметрического анализа [2,3].

Рассмотрены вопросы проектирования малых космических аппаратов с маршевой электроракетной двигательной установкой для исследования окололунного пространства и малых тел Солнечной системы [4-6].

Анализ схемных решений и оценка эффективности применения малых космических аппаратов с электроракетными двигательными установками позволяют дать рекомендации по выбору рациональных схем и характеристик ЭРДУ в составе МКА [7].

Список литературы

- 1. Кульков В.М., Обухов В.А., Егоров Ю.Г., Белик А.А., Крайнов А.М. Сравнительная оценка эффективности применения перспективных типов электроракетных двигателей в составе малых космических аппаратов. // Вестник СГАУ имени академика С.П. Королева "Авиационная и ракетно-космическая техника" – Самара, 2012, №4(34), Часть 1 – С. 187-195.*
- 2. Кульков В.М. Исследование проектных параметров и анализ эффективности применения унифицированных платформ с электроракетными двигателями в составе малых космических аппаратов. // Вестник Московского авиационного института. 2012, №2, Том 19, С. 18-28.*
- 3. Кульков В.М. Построение комплекса проектных моделей для параметрического анализа малых космических аппаратов с электроракетными двигателями. // Вестник Московского*

авиационного института. 2012, № 4, Том 19, С. 44-55.

4. Кульков В.М., Егоров Ю.Г., Крайнов А.М., Шаханов А.Е., Ельников Р.В. К вопросу проектирования малых космических аппаратов с маршевой электроракетной двигательной установкой для исследования окололунного пространства. // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2013, №4 (20), С. 68-74.

5. Кульков В.М., Егоров Ю.Г., Крайнов А.М., Шаханов А.Е., Ельников Р.В. К вопросу проектирования малых космических аппаратов с маршевой электроракетной двигательной установкой для исследования малых тел Солнечной системы. // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2015, №1 (27), С. 48-54.

6. V.M. Kulkov, Yu.G. Egorov, A.M. Krainov, A.E. Shakhanov, R.V. Elnikov. On the Problem of Designing Small Spacecraft with Electric Propulsion Power Plants for Studying Minor Bodies of the Solar System. // Solar System Research, 2016, Vol. 50, No. 7, pp. 533–539.

7. В.М. Кульков, Ю.Г. Егоров, Фирсюк С.О. Анализ схемных решений и оценка эффективности применения малых космических аппаратов с электроракетными двигательными установками. // XXVII международная научно-техническая конференция "Современные технологии в задачах управления, автоматике и обработки информации. Алушта, 14-20 сентября 2018 г., С.165-166.

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РАДИАЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНИКОВ ДЛЯ КРИОСТАТИРОВАНИЯ ФОТОПРИЕМНИКОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Thermal modelling and testing of radiative coolers for cryostatting Earth remote sensing optic and electronic equipment

Бугрова А.Д., Коржов К.Н., Куперштейн В.Б., Шабарчин А.Ф.

АО «НПО Лавочкина», Химки

В докладе представлены результаты исследований теплового режима радиационного холодильника (РХ), в рамках которых составлена тепловая компьютерная модель и проведены тепловакуумные испытания.

Космические аппараты (КА) дистанционного зондирования Земли производства АО «НПО Лавочкина» предназначены для проведения многозональной съемки диска Земли в видимом и инфракрасном диапазонах. Для охлаждения фотоприемников установленной на КА оптико-электронной аппаратуры до 80 К применяются радиационные холодильники (РХ), которые излучают тепло в открытый космос [1, 2]. Для проведения параметрических исследований и анализа теплового режима РХ создан экспериментальный стенд и разработана компьютерная модель высокой степени детализации.

Экспериментальный стенд включает вакуумную камеру, оснащенную гелиевыми криогенными машинами, и криопанель с температурой 30 К. Сравнение экспериментальных данных, полученных на стенде, с данными летной эксплуатации КА показывает, что стенд позволяет воспроизводить температуру фотоприемников при летной эксплуатации с точностью 1,5...2°C.

Компьютерная модель РХ включает также элементы стендового оборудования (стендовую теплоизоляцию, криопанель), необходимые для

верификации разработанной модели по результатам тепловакуумных испытаний РХ. Для проведения более точного и менее затратного по времени расчета угловых коэффициентов в тепловой модели были использованы только 2D элементы, позволяющие имитировать лучистый и кондуктивный теплообмен. Моделирование условий экспериментов, проведенных на стенде, показало хорошую сходимость расчетных и экспериментальных данных.

По разработанной и верифицированной по результатам испытаний тепловой модели проведены расчеты теплового режима РХ в условиях летной эксплуатации.

Список литературы

Гончаров К.А., Катин А.А., Коржов К.Н., Куперштейн В.Б. и др. Моделирование натуральных условий эксплуатации радиационных холодильников для криостатирования фотоприемников оптико-электронной аппаратуры при наземной тепловакуумной отработке // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2018. №4(42). – С. 31-37
Воронкевич А.В., Боярчук К.А., Салихов Р.С., Дербушев В.В. и др. Патент RU №113566 от 07.07.2011. Радиационный холодильник. Опубликовано: 20.02.2012. Бюл. №5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ БИНС НА ТОЧНОСТЬ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОВРЕЖДЕННОГО САМОЛЕТА

Influence of strapdown INS errors on the accuracy of adaptive control of damaged airplane

Н.М. Нгуен, Р.Н. Басыров

Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)

Р.Н. Басыров – студенты кафедры 305 «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации», научный руководитель доцент Н.М. Нгуен

В докладе представлены результаты исследования влияния погрешностей датчиков бесплатформенной инерциальной навигационной системы на точность адаптивного управления движением самолета в случае механического повреждения.

В данной работе проводится исследование влияния погрешностей датчиков измерительно-вычислительного комплекса на точность адаптивного управления движением поврежденного самолета.

Рассмотрен аварийный режим полета, заключающийся в механическом повреждении самолета на второй фазе посадки. В данном этапе полета, к точности стабилизации самолета на глиссаде предъявляются очень высокие требования, т.к. маленькое отклонение самолета от глиссады может привести к жесткому приземлению, либо прекращению посадки. Как правило, автопилот системы автоматической посадки, имеющий фиксированные параметры и структуру, удовлетворяет этим условиям при штатном режиме движения, даже при возмущенном движении, обусловленном небольшим повреждением самолета. Однако, при большом повреждении самолета, из-за чего его конструктивные и аэродинамические характеристики могут быть сильно изменены, для обеспечения безопасности полета требуется применять алгоритмы управления, подстраивающиеся к изменениям динамических свойств самолета. При этом, степень адаптации в основном зависит от точности идентификации математической модели движения самолета, которая в свою очередь обуславливается погрешностями датчиков бортовых измерительных систем.

В работе разработан алгоритм адаптивного управления с самооптимизирующимися регуляторами, основанными на идентификации моделей каналов

управления продольным движением самолета. Системе измерения, обеспечивающей алгоритму идентификации оценки о текущем состоянии самолета, служит бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС). Погрешности датчиков БИНС определяются величинами смещений нуля, погрешности масштабных коэффициентов гироскопов и акселерометров, а также статистическими характеристиками шумов измерения.

Промоделирована работа контура управления движением самолета с различными уровнями механического повреждения и значениями параметров модели ошибок датчиков БИНС. На основе результатов моделирования проведен сравнительный анализ влияния погрешности БИНС на точность стабилизации самолета на глиссаде, а также сделана рекомендация по точности БИНС для обеспечения безопасности полета в таких аварийных режимах полета.

Список литературы

Костюков В.М., Нгуен Н.М. Разработка математического имитатора алгоритмов управления пространственным движением самолета. Вестник МАИ, 2010г., Т.17, №2.

А.В. Запорожец, В.М. Костюков. Проектирование систем отображения информации: Учеб. пособие для приборостроительных специальностей вузов. - М.: Машиностроение, 1992. - 336 с.: ил.

Nguyen, N., Krishnakumar, K., Kaneshige, J., and Nespeca, P., "Flight Dynamics and Hybrid Adaptive Control of Damaged Aircraft," *AIAA Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 31, No. 3, pp. 751-764, 2008.

Изерман Р. Цифровые системы управления: Пер. с англ. - М.: Мир, 1984. - 541с., ил.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЗАТРАТ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ КЛЮЧЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БОРТОВЫХ СИСТЕМ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Research of the effect of costs in the realization key technologies of onboard systems on the characteristics of the spacecraft

В.А. Ламзин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва

Проведены исследования влияния затрат при реализации ключевых технологий бортовых систем при среднесрочном прогнозе на технико-экономические характеристики модификаций космического аппарата. Разработан метод и алгоритм проведения исследований. Проведена сравнительная оценка влияния принятых ключевых технологий на эффективность и сроки использования модификаций космических аппаратов, создаваемых в планируемый период.

При создании модификаций космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) обычно реализуются существующие (реализованные на предыдущих изделиях) проектно-конструкторские решения (ПКР) бортовых систем или их подсистем. В случае, когда обсуждаются перспективы развития техники с учетом того, что базовые ПКР могут существенно влиять на свойства и эффективность перспективных КА, то можно говорить о ключевых ПКР (или ключевых технологиях). Научно-технический потенциал, заложенный в ключевых технологиях, влияет на возможности и сроки их применения в других перспективных проектах. При реализации перспективного проекта КА ДЗЗ и создании ключевых технологий бортовых систем с высоким научно-техническим уровнем необходимо учитывать дополнительные затраты на выполнение работ. При этом важно определить ключевые технологии и рационально распределить средства на их реализацию при обеспечении необходимого уровня эффективности разрабатываемого КА. Это не простая проблема. Если удастся выявить ключевые технологии и установить зависимость эффективности КА от затрат на создание таких технологий бортовых систем, то при разработке перспективного КА стоит технико-экономическая задача определения рациональных требований к эффективности ключевых технологий для обеспечения необходимого уровня эффективности перспективного аппарата и минимизировать затраты на проект.

Для проведения исследований влияния затрат при реализации ключевых технологий бортовых систем на характеристики модификаций КА, разработаны метод и алгоритм оценки характеристик аппарата. Метод позволяет проводить комплексную оптимизацию параметров модификации КА ДЗЗ и бортовых систем, сформировать эффективный алгоритм согласованного оптимизационного поиска, оценить влияние затрат на ключевые технологии бортовых систем и провести сравнительную оценку влияния

принятых ключевых технологий на характеристики перспективной техники. В основу разработанного метода положены представления о многоуровневом управлении разработкой и реализации многоуровневой проектной модели. Используется двухуровневая (верхний и нижний уровень) модель управления разработкой и статистический метод двухуровневой согласованной оптимизации [1-4]. Алгоритм проведения исследований включает последовательное решение проектных задачи на верхнем и нижнем уровнях управления разработкой, при этом реализуется процедура согласования проектных решений. Такой подход, с одной стороны, даёт возможность учесть особенности проектно-конструкторских решений подсистем КА без расширения состава проектной модели; с другой стороны, оптимизация параметров подсистем аппарата на нижнем уровне управления (при детализации проектной модели) проводится с учётом динамики функциональных ограничений (массовых, габаритных, информационных и энергетических). С помощью разработанного метода проведена сравнительная оценка влияния принятых ключевых технологий на эффективность и сроки использования модификаций КА ДЗЗ. Под ключевыми технологиями понимаются перспективные конструкторско-технологические решения основных подсистем, реализуемые при создании КА ДЗЗ и их модификаций в планируемый период, от которых зависит научно-технический уровень, конкурентоспособность и эффективность техники. В свою очередь (при решении обратной задачи), такие исследования позволяют выделить ключевые ПКР и определить их рациональные параметры. От реализации ключевых технологий во многом зависит эффективность новой техники, создаваемой в планируемый период.

Список литературы

1. Матвеев Ю.А., Ламзин В.А., Ламзин В.В. Основы проектирования модификаций космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. М.: Изд-во МАИ, 2015. 176 с.
2. Матвеев Ю.А., Ламзин В.А., Ламзин В.В. Исследование влияния надежности модификаций КА на программу развития космической системы // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2015. № 1. С.41-47.

3. Матвеев Ю.А., Ламзин В.А., Ламзин В.В. Метод прогнозных исследований эффективности модификаций КА при комплексной замене подсистем // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2015. № 4. С.53-59.

4. Ламзин В.В., Макаров Ю.Н., Матвеев Ю.А. Вопросы поиска эффективных проектных решений при модернизации космической системы ДЗЗ // Полет. 2011. № 5. С. 3-9.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОЛЕТА ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОМ МЕХАНИЧЕСКОМ ПОВРЕЖДЕНИИ КРЫЛА

Aerodynamic effect of nonsymmetric wing damage of transport aircraft

В.М. Костюков, В.К. Чан

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

В.К. Чан – аспирант кафедры 305 «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации», научный руководитель профессор В.М. Костюков

В докладе рассмотрено моделирование изменения аэродинамических коэффициентов самолета при частичном разрушении крыла методами вычислительной гидро-аэродинамики (CFD).

Для того, что бы разрабатывать адаптивные алгоритмы управления движением самолета, нужно исследовать фактическое изменение аэродинамических характеристик в случае полной компоновки магистрального самолета и с частичным разрушением. Поскольку физическое разрушение конструкции различной сложности фактически не приемлемо, возникла необходимость разработать методы моделирования движения цельного и частично разрушенного самолета численными методами, которые можно реализовать на современных мощных компьютерах. Для решения данной задачи построены расчетные сетки для трехмерной модели самолета в полной компоновке и компоновке с несимметричным повреждением крыла. Численный расчет аэродинамических коэффициентов самолета при различных углах атаки, скольжения и числах Маха выполнен в среде моделирования обтекания самолета потоком воздуха - ANSYS FLUENT, ис-

пользуя и сравнивая различные модели турбулентности.

По завершении серийных расчетов была проведена обработка выходных данных и проведен анализ результатов. Полученные количественные оценки изменения аэродинамики самолета при разрушениях различной сложности в дальнейшем будут использованы для моделирования пространственного движения самолета в аварийных ситуациях, с помощью чего можно тестировать и оценивать качество алгоритмов адаптивного управления движением поврежденного самолета.

Список литературы

Nguyen, N., Krishnakumar, K., Kaneshige, J., and Nespeca, P., "Flight Dynamics and Hybrid Adaptive Control of Damaged Aircraft," *AIAA Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 31, No. 3, pp. 751-764, 2008.

Чан К.Д. Теоретический анализ точностных характеристик движения пассажирского самолета с измерительно-вычислительным комплексом бароинерциального типа в режиме посадки. Диссертация, МАИ, 2016.

ИНЕРЦИАЛЬНО-ДОПЛЕРОВСКАЯ КОМПЛЕКСНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Doppler-aided inertial navigation system for autonomous unmanned underwater vehicle

Е.Р. Пушкарева, М.С. Рябинкин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Е.Р. Пушкарева, М.С. Рябинкин – студенты кафедры 305 «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации», научный руководитель кандидат технических наук доцент Д.А. Антонов

В докладе приводится аппаратная и алгоритмическая структуры инерциально-доплеровской комплексной навигационной системы (ИДКНС) малогабаритного автономного обитаемого подводного аппарата (АНПА). Дается структура алгоритмов комплексной обработки информации. Приводятся алгоритмы

счисления координат по гидроакустическим доплеровским измерениям и математические модели погрешностей подсистем ИДКНС. Даются методика и программно-математическое обеспечение для исследования свойств синтезированных алгоритмов ме-

тодами имитационного моделирования. Приводятся результаты имитационного моделирования.

В настоящее время при решении задач мониторинга морских акваторий активно применяются необитаемые подводные аппараты. К таким задачам можно отнести обеспечение безопасности судоходства, гидрографическую съёмку, исследование месторождений полезных ископаемых и другие. Наиболее распространённым и востребованным является класс малых (переносных) АНПА массой до 150 кг. Аппараты данного класса активно разрабатываются отечественными производителями.

При выполнении опытно конструкторских работ по созданию АНПА малого класса на кафедре 305 «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации» МАИ возникла задача синтеза алгоритма инерциально-доплеровской комплексной навигационной системы. В аппаратный состав входит бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС), состоящая из трёх гироскопов ОИУС-1000 и трёх акселерометров АК-15, доплеровский измеритель скорости и магнитный компас. Автономная ИНС является недемпфированной, то есть её ошибки совершают незатухающие свободные колебания с периодом Шулера. Колебания ошибок можно демпфировать с помощью внешнего относительно системы доплеровского измерителя скорости. Совместная обработка измерений производится с применением алгоритмов комплексной обработки информации на вычислителе с тройным резервированием.[1]

Для ускорения процесса разработки и упрощения тестирования разрабатываемого программного обеспечения, все алгоритмы были реализованы в среде Matlab/Simulink с последующим преобразованием в программный код микроконтроллера на языке Си. Такой подход дает возможность оперативно вносить крупные изменения в алгоритмическую структуру, а также позволяет быстро проводить моделирование алгоритмов на базе персонального компьютера. [2]

Для исследования свойств синтезированного алгоритма управления была разработана методика и программно-математическое обеспечение имитационного моделирования алгоритмов ИДКНС. В докладе приводится анализ результатов имитационного моделирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Задание №8.2118.2017/4.6 на выполнение НИР в рамках проектной части госзадания в сфере научной деятельности).

Список литературы

Н.Т. Кузовков, О.С. Салычев, *Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация*. – М.: Машиностроение, 1982 г.

А.В. Савкин, Л.А. Колганов, Е.Л. Чехов, *Синтез программно-алгоритмического обеспечения навигации и управления движением автономного необитаемого аппарата*, Санкт-Петербург, 2019 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ИНТЕГРИРОВАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ СПУТНИКА ГЛОНАСС

Study of numerical integration methods effect on GLONASS satellite trajectory estimation accuracy

М.Д. Тумаев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

М.Д. Тумаев – студент кафедры 305 «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации», научный руководитель доцент каф.305 к.т.н Д.А. Антонов

В работе приводятся результаты исследования влияния методов численного интегрирования на точность расчета координат спутника системы ГЛОНАСС. Приведены методика и результаты имитационного моделирования исследуемых методов. Дается оценка целесообразности применения метода Эверхарта с целью уменьшения объема вычислений по сравнению с наиболее часто используемым методом Рунге-Кутты 4-го порядка.

Современные спутниковые приемники сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) способны определять координаты ГНСС

антенны с точностью на уровне сантиметров и даже миллиметров [1]. При этом суммарная погрешность определения координат объекта приемником складывается из методических и инструментальных погрешностей аппаратуры потребителя, наземного и космического сегментов.

Влияние на методическую погрешность измерения координат фазового центра ГНСС антенны, в том числе, оказывает погрешность расчета координат спутников взятых на слежение, в основе которого лежит интегрирование уравнений движения.

Начальными условиями интегрирования в таком случае является эфемеридная информация, которая передается от НКА потребителю в составе навигационного сообщения. Обновления эфемеридных данных происходит каждые полчаса, что ограничивает рост погрешности интегрирования на заданном интервале времени.

В рамках опытно-конструкторских работ на кафедре 305 «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации» МАИ ведётся разработка контрольно-корректирующей станции (ККС) ГНСС для обеспечения посадки беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Для обоснования выбора метода численного интегрирования уравнений движения НКА был проведен сравнительный анализ существующих численных методов интегрирования, в том числе, рекомендуемого контрольно-интерфейсным документом ГЛОНАСС [2] метода Рунге-Кутты 4-го порядка.

В среде Simulink было проведено имитационное моделирование рассматриваемых алгоритмов на основе тестовых значений эфемеридных данных и координат спутников, указанных в контрольно-интерфейсном документе ГЛОНАСС. По результа-

там имитационного моделирования для каждого метода численного интегрирования была сформирована оценка погрешности расчета координат НКА и требуемого объема вычислений. Проведен анализ целесообразности применения рассматриваемых методов в программно-алгоритмическом обеспечении ККС ГНСС.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ 19-08-01223-а.

Список литературы

1. Антонов Д.А. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Бортовой навигационный комплекс повышенной помехоустойчивости с переменной структурой для БПЛА. Москва 2015. 147 с.
2. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Редакция (5.1) Москва 2008. – 74с.
3. Толстиков А.С. Алгоритмы синхронизации пространственно-разнесённых часов по сигналам спутниковых навигационных систем // Метрология: приложение к журналу «Измерительная техника». – 2009. – № 9. – С. 25–35.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АЛГОРИТМ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ТРАЕКТОРИИ ПРОДОЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ САМОЛЕТА

Computer algorithm for designing the altitude – speed hold autopilot

Н.М. Нгуен, А.И. Волков, А.А. Гусев

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

А.А. Гусев, А.И. Волков – студенты кафедры 305 «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации», научный руководитель доцент Н.М. Нгуен

В докладе рассмотрены результаты применения разработанного авторами компьютерного алгоритма автоматизации синтеза системы стабилизации высоты и скорости самолета с использованием полной нелинейной модели его движения.

Система автоматического управления движением современных самолетов является сложной системой, для проектирования которой в настоящее время широко применяют методы синтеза, основанные на использовании частотных методов подбора параметров регулятора, либо на основе оптимизации квадратичного критерия для линеаризованного объекта, из-за чего некоторые особенности динамики движения объекта могут быть не учтены, осо-

$$\dot{\delta}_в + \frac{1}{T_в} \delta_в = u_{в0} + k_1 \omega_z + k_2 \theta + k_3 (h_{зад} - h); \quad \dot{\delta}_Т + \frac{1}{T_д} \delta_Т = u_{Т0} + k_4 (V_{зад} - V) + k_5 \dot{V} \quad (1)$$

до тех пор, пока требования по конечной точности управления и переходному процессу возмущенного движения, предъявляемые к параметрам состояния самолета, не были удовлетворительны.

$$J = \Phi(\mathbf{x}_{тф}, \mathbf{x}_{зад}) + \int_{t_0}^{t_f} L(\mathbf{x}, \mathbf{x}_{зад}, u, u_0, t) dt \quad (2)$$

бенно при большом отклонении вектора состояния объекта от программной траектории. В связи с этим в данной работе предлагается компьютерный алгоритм автоматизированного синтеза системы стабилизации высоты и скорости самолета с использованием полной нелинейной модели его движения, путём применения метода оптимизации законов управления движением в контуре математического моделирования полёта.

Принцип работы предлагаемого алгоритма заключается в повторном моделировании полета на заданный интервал времени с итерационным улучшением значения коэффициентов законов управления рулем высоты и сектором газа двигателя:

Подбор коэффициентов законов управления (1) реализуется по минимизации следующего критерия качества:

где $\Phi(\mathbf{x}_{t_f}, \mathbf{x}_{зад})$ - терминальная функция критерия, оценивающая конечную точность стабилизации управляемых параметров движения самолета в заданный момент времени t_f , $L(\mathbf{x}, \mathbf{x}_{зад}, u, u_0, t)$ - подынтегральная функция критерия, минимизация

$$\Phi(\mathbf{x}_{t_f}, \mathbf{x}_{зад}) = q_1 \omega_{z_{t_f}}^2 + q_2 \theta_{t_f}^2 + q_3 (V_{t_f} - V_{зад})^2 + q_4 (h_{t_f} - h_{зад})^2$$

$$L(\mathbf{x}, \mathbf{x}_{зад}, u, u_0, t) = q_5 \omega_z^2 + q_6 \theta^2 + q_7 (\delta_v - \delta_{v0})^2 + q_8 (\delta_T - \delta_{T0})^2$$

где $\omega_{z_{t_f}}, \theta_{t_f}$ - значение угловой скорости тангажа и угла наклона траектории в момент t_f ; ω_z, θ, V - текущее значение угловой скорости тангажа, угла наклона траектории и скорости в момент времени $t \in [t_0, t_f]$; δ_{v0}, δ_{T0} - балансировочное положение руля высоты и сектора газа; $q_i, i = 1..6$ - заданные весовые коэффициенты критерия.

Результаты работы предлагаемого алгоритма верифицируются классическим методом анализа амплитудно-частотных характеристик контура управления движением самолета.

интеграла которого за интервал времени $[t_0, t_f]$ обеспечивает затухание отклонения состояния самолета от программной траектории.

Для решения поставленной задачи приняты следующие функции критерия (2):

Список литературы

Конспект лекции по курсу «Математическое моделирование, оптимизация и идентификация», кафедры 305 МАИ.

Системы автоматического управления полетом и их аналитическое конструирование, А.А. Красовский, Москва 1973

Проектирование систем отображения информации, А.В. Запорожец, В.М. Костюков, Москва 1992

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛЕТНЫХ ИСПЫТАНИЙ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Flight test facilities for satellite navigation systems

Е.Г. Харин, И.А. Копылов, В.А. Копелович, Е.Б. Горский, В.Б. Ильин

ГНЦ РФ, АО «Летно-исследовательский институт имени М.М. Громова»,

г. Жуковский, Московская область

Изложены методы и средства, разработанные в Летно-исследовательском институте имени М.М. Громова, применяемые при летных испытаниях спутниковых навигационных систем из состава пилотажно-навигационного оборудования современных летательных аппаратов.

В состав пилотажно-навигационного оборудования современных летательных аппаратов входит приемник спутниковой навигационной системы (СНС). В летных испытаниях необходимо оценить функционирование приемника СНС, определить статистические характеристики погрешностей его навигационных параметров, подтвердить соответствие заданным требованиям. В настоящее время система спутниковой навигации среди всех бортовых навигационных систем выделяется высокой точностью определения навигационных параметров летательного аппарата. При оценивании параметров приемника СНС возникает проблема получения действительных значений навигационных параметров летательного аппарата с точностью, превышающей заданные характеристики оцениваемой системы.

В Летно-исследовательском институте имени М.М. Громова оценивание аппаратуры спутниковой навигации в летных испытаниях производится с помощью комплекса бортовых траекторных измерений (КБТИ) [1], в бортовом блоке которого размещается приемник СНС, принимающий информацию от навигационных спутников ГЛОНАСС и GPS. КБТИ осуществляет регистрацию параметров бортовых систем и формирование траекторных

параметров летательного аппарата на основе дифференциального режима СНС и комплексной обработки информации встроенного приемника СНС и бортовой инерциально-навигационной системы. Для формирования данных дифференциального режима СНС в районе проведения летных испытаний размещается стационарная базовая контрольная станция.

Так как погрешность навигационного параметра можно считать случайной величиной, то требования по точности к навигационной системе формулируются на вероятностном языке. Например, требуется, чтобы погрешность координат приемника СНС с вероятностью 0,95 не превышала величины Δ_x , порядка нескольких десятков метров. В летных испытаниях погрешности координат оцениваемого бортового приемника СНС вычисляются с помощью данных дифференциального режима СНС. Установлено, что погрешности координат дифференциального режима СНС по фазовым измерениям не превышают 0,7 м, а по кодовым измерениям – 3÷5 м. Если же испытательный полет происходит на значительных удалениях от базовой контрольной станции, то погрешности заменяются разностями соответствующих координат оцениваемого бортового приемника СНС и автономного режима приемника СНС из состава КБТИ. Если все значения разностей не превышают по абсолютной величине Δ_x , то они включаются в общий статистический массив погрешностей оцениваемого бортового приемника СНС. Если же значения отдельных

разностей превышают заданные требования, то действительные значения координат летательного аппарата формируются посредством получения поправок к эфемеридам орбит и бортовым часам всех видимых навигационных космических спутников от сетевого источника поправок – Интернета. Данный метод в англо-язычной литературе называют PPP – Precise Point Positioning [2].

В летных испытаниях оцениваются также составляющие вектора скорости бортового приемника СНС. В требованиях по скорости величина Δ_v , ограничивающая с вероятностью 0,95 погрешности, как правило, равна $0,2 \div 0,3$ м/с. В доплеровских измерениях приемника СНС из состава КБТИ присутствует шумовая составляющая относительно высокой интенсивности. Ее наличие приводит к появлению случайной погрешности в значениях скорости приемника СНС. Согласно проведенным исследованиям погрешность в определении составляющих вектора скорости объекта, как в автономном режиме, так и в дифференциальном с вероятностью 0,95 не превышает 0,2 м/с. Погрешность скорости сравнима с заданным уровнем погрешности для оцениваемого бортового приемника СНС. Поэтому в качестве действительных берутся значения скорости, вычисленные в результате комплексной обработки информации приемника СНС КБТИ и инерциальной навигационной системы (ИНС), входящей в состав бортового навигационного оборудования летательного аппарата. Информация бортовой ИНС регистрируется в КБТИ. Алгоритмы

комплексной обработки информации разработаны в Летно-исследовательском институте имени М.М. Громова и позволяют снизить уровень случайной составляющей погрешности по скорости до 0,1 м/с. Поскольку сигналы навигационных спутников достаточно слабые и легко поддаются искажениям под действием естественных и искусственных помех, то в последние годы в состав бортовых пилотажно-навигационных комплексов включают приемники СНС с антенным подавителем помех. При оценивании функционирования таких систем в условиях наличия искусственных помех возникает проблема из-за отсутствия данных приемника СНС КБТИ, на который также влияет действие помех. Зона действия помех ограничена, летательный аппарат находится в ней несколько минут. Действительные значения траекторных параметров формируются на таких участках с помощью комплексной обработки информации приемника СНС и бортовой ИНС в режиме прогноза.

Список литературы

1. Харин Е.Г., Копылов И.А. Технологии летных испытаний бортового оборудования летательных аппаратов с применением комплекса бортовых траекторных измерений. – М.: МАИ-ПРИИТ, 2012. – 360 с.
2. Виноградов А.В. Оценка точности метода Precise Point Positioning и возможности его применения при кадастровых работах. – Геопрофи, № 2, 2010. Стр. 27 – 30.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОСАДКОЙ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АПАРАТА

System landing control of unmanned aerial vehicle

К.И. Дулкина, И.А. Ключина, Р.Н. Исянов

Пензенский государственный университет «ПГУ»

К.И. Дулкина, И.А. Ключина – студентки 4-го курса каф. «Автоматика и телемеханика», научный руководитель к.т.н., доцент Р.Н. Исянов

В данной работе представлена система управления посадкой беспилотного летательного аппарата.

С появлением современных авианосцев и тяжелых авиационных крейсеров-ракетоносцев (ТАКР) и, как следствие, с расширением сферы боевого применения летательных аппаратов ЛА, перед разработчиками оптико-электронных прицельно-навигационных комплексов (ОЭПНК) самолетов и вертолетов палубного базирования встал ряд новых задач, среди которых исключительно важное значение имеют:

- задача начальной подготовки (выставки) инерциальной навигационной системы БИНС в условиях произвольного движения корабля и его орбитальной и угловой качки при волнении моря до 6 баллов;
- задача автоматизированной посадки ЛА на корабль при указанном выше волнении моря и неко-

торых требований, ограничивающих маневрирование корабля.

Предлагается система, предназначенная для построения посадочной траектории с учетом движения корабля и относительного движения корабля и беспилотного летательного аппарата.

Спутниковая навигационная система корабля (СНС_к) принимает псевдодальности корабля от космических навигационных аппаратов (КНА) и передает их в аппаратуру передачи данных корабля (АПД_к). Инерциальная навигационная система корабля (ИНС_к) формирует составляющие путевой скорости корабля и углы бортовой и килевой качки, угол истинного курса и передает их в АПД_к. Аппаратура передачи данных корабля передает полученную информацию в эфир на борт БПЛА. Спутниковая навигационная система БПЛА (СНС_б)

принимает и обрабатывает информацию, переданную по каналу АПД_к, также определяет составляющие путевой скорости и координаты БПЛА. Далее СНС_б передает всю информацию по цифровым линиям связи в электронную вычислительную машину БПЛА (ЭВМ_б). Бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС_б) формирует углы эволюции (курс, крен, тангаж) и составляющие путевой скорости БПЛА, и передает их в ЭВМ_б по цифровым линиям связи. Электронная вычислительная машина БПЛА производит обработку всех полученных данных и формирует посадочную траекторию и сигналы отклонений от нее, передавая их в систему автоматического управления (САУ).

Достаточно полная система нелинейных дифференциальных уравнений движения ЛА представляет собой уравнения динамики тела с переменной массой под действием распределенной системы гравитационных и аэродинамических сил и моментов, а также тяги двигателей. Такая система достаточно сложна и многие параметры в ней неизвестны.

В работе рассмотрен оптимальный линейный дискретный фильтр, обеспечивающий минимальную среднеквадратичную ошибку оценивания. В данном фильтре реализуется идея предсказания коррекции. Предыдущая оценка $\hat{x}(j-1)$ экстраполируется на один шаг вперед и затем используется для получения наилучшей оценки нового наблюдения $z(j)$, основанной на всех предыдущих наблюдениях. Ошибка между наилучшей оценкой текущего наблюдения и фактическим наблюдением $\tilde{z}(j|j-1)$, представляет собой новую информацию. Ошибка взвешивается с весом $K(j)$, учитывающим

значение дисперсий входного процесса, измерения и ошибки оценивания для формирования сигнала коррекции. Сигнал коррекции складывается с предсказанной оценкой и в результате получается новая оценка.

Список литературы

1. Василин, Н.Я. Беспилотные летательные аппараты [Текст]. – Мн.: ООО «Попурри», 2013. – 272 с.
2. Ганин, С.М. Беспилотные летательные аппараты [Текст] / С.М. Ганин, А.В. Карпенко, В.В. Колногоров, Г.Ф. Петров. – Спб.: «Невский Бастион», 2011. – 160 с.
3. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий [Текст] / под ред. М.Н. Красильщикова, Г.Г. Серебрякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 280 с.
4. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов [Текст] / под ред. М.Н. Красильщикова, Г.Г. Серебрякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 556 с.
5. Лебедев, А.А. Динамика полета беспилотных летательных аппаратов [Текст] / А.А. Лебедев, Л.С. Чернобровкин. – М.: Книга по Требованию, 2012. – 122 с.
6. Остославский, И.В. Динамика полета. Траектории летательных аппаратов [Текст] / И.В. Остославский, И.В. Стражаева. – М.: Машиностроение, 2012. – 512 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВОЗМУЩАЮЩИХ ФАКТОРОВ

The dynamic investigation of spacecraft control orientation system subjected to indignant factors

А.И. Заведеев

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

А.И. Заведеев – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры 301,
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»

Приведены результаты исследования динамики гиросиловой системы управления ориентацией (СУО) космического аппарата (КА) в задаче высокоточного управления угловым положением объекта в условиях космического полета при воздействии возмущающих факторов.

Рассматривается актуальная проблема построения высокоточной системы управления ориентацией (СУО) космическим аппаратом (КА) дистанционного зондирования Земли или научной орбиталь-

ной станцией в процессе длительной эксплуатации в условиях космического полета. Данная проблема связана с влиянием на динамику СУО ряда аномальных явлений и возмущающих факторов [1]. Проблемы влияния упругих колебаний элементов конструкции и перемещения жидких компонентов в баках топливной системы реактивных двигателей на динамику СУО близки с точки зрения математических моделей механических и динамических схем наблюдаемых явлений.

На основе принципа Лагранжа составляют уравнения для принятой модели механической системы, состоящей из основного тела (ОТ) и подвижных элементов (ПЭ) с n степенями свободы, из которых получают передаточную функцию (ПФ) от управляющего момента до управляемой фазовой координаты. Для оценки влияния колебаний жидкости на динамику СУО выбирают механическую модель, в которой ОТ – КА, ПЭ – эквивалентные маятники с заданными массой, плечом и точкой подвеса относительно корпуса КА, общее количество которых определяется требуемой точностью. Динамические свойства СУО определяются характером ЛАЧХ и ФЧХ в окрестности сопрягающих частот и зависят от декремента затухания. При сближении сопрягающих частот влияние колебаний жидкости снижается, однако ФЧХ может значительно деформироваться и привести к потере устойчивости. Результаты моделирования подтверждают тот факт, что колебания проявляются при расхождении сопрягающих частот форсирующей и инерционной составляющих относительно друг друга и интенсивность этого явления возрастает при уменьшении затухания.

Исследования, проведенные в МАИ, МОКБ «Марс», ФГУП «НПО ПМ им. акад. М.Ф. Решетнёва», подтвердили, что ПФ упругой конструкции можно описать двумя моделями: 1) посредством ПФ жесткого объекта с параллельно

включенными колебательными звеньями в количестве, равном числу учитываемых тонов; 2) с помощью ПФ жесткого объекта и последовательно включенных форсирующего и инерционного звеньев второго или четвертого порядка с нулевой относительной степенью [2].

В результате проведенных исследований синтезирована структура и дискретные алгоритмы управления, диагностирования и реконфигурации бортового комплекса введением структурного и программного резервов, обеспечивающие робастную устойчивость гиросиловой СУО упругой модели КА во всех режимах.

Список литературы

Заведеев А.И. *Исследование динамики системы управления ориентацией космического аппарата с учетом влияния аномальных явлений // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сб. трудов XXVII Международной научно-технической конференции 2018 г., Алушта: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. С. 168 – 169.*

Основы проектирования активных систем ориентации и стабилизации автоматических космических аппаратов связи на геостационарной орбите: уч. пособие / Раевский В.А., Тестоедов Н.А., Лукьяненко М.В., Якимов Е.Н. Изд-во СГАУ. Красноярск. 2016. 496 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВ АТАКИ И СКОЛЬЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО СУДА НА ОСНОВЕ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СВС, БИНС И СНС ПО МАТЕРИАЛАМ ЛЕТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Determination of angles of attack and slip on the basis of the air data, strap-down reference and satellite navigation systems measurements in aircraft flight testing

**Е.В. Данилевич, Е.М. Мошков, Б.К. Поплавский, Г.Н. Сироткин,
А.Р. Евстратов, И.И. Кухаренко**

Е.В. Данилевич, Е.М. Мошков, Б.К. Поплавский, Г.Н. Сироткин –
АО «ЛИИ им. М.М. Громова»; А.Р. Евстратов, И.И. Кухаренко – ОКБ Сухого

В докладе рассмотрены вопросы повышения точности оценки углов атаки, скольжения и величины воздушной скорости с помощью данных бортовых измерений СВС, БИНС и СНС

Для решения задачи определения аэродинамических характеристик самолета по материалам летных испытаний требуется определение углов атаки и скольжения по зарегистрированным в полете параметрам движения. Бортовые системы измерения воздушных сигналов (СВС) позволяют получать значения углов атаки и скольжения на основе измерения местных углов атаки и скольжения, отличающихся от истинных. Точные зависимости местных углов атаки и скольжения от их истинных значений (градуировочные зависимости) заранее неизвестны, кроме того, измерения содержат случайные погрешности. Использование в качестве оценок

углов атаки и скольжения непосредственно самих измерений местных углов или оценок, полученных на основе приближенных градуировочных зависимостей, приводит к погрешности, зависящей от погрешностей измерения и неточности задания градуировочной кривой. Поэтому при разработке технологии определения углов атаки и скольжения необходимо учитывать: отсутствие точных градуировочных зависимостей и наличие случайных погрешностей измерений.

Предлагается для более точной оценки углов атаки и скольжения разделить проблему на две последовательно решаемые задачи: определение (уточнение) градуировочных зависимостей и оценку углов атаки и скольжения при известных градуировочных зависимостях с использованием информации СВС,

БИНС и СНС.* В рамках решения первой задачи выделяется частная задача оценки среднего ветра в летном эксперименте до и после выполнения испытательных режимов по оценке градуировочных зависимостей. Такое методическое разделение исходной проблемы обеспечивает более точное определение интересующих нас параметров за счет привлечения большего объема информации, используемой для оценки (данные дополнительных испытательных режимов), и уменьшения количества определяемых параметров в каждой задаче. Точность оценки углов атаки и скольжения в условиях неспокойной атмосферы при известных градуировочных зависимостях также будет выше за счет того, что уменьшается число неизвестных факторов, влияющих на оценку. Для оценки составляющих среднего ветра используются режимы горизонтального полета с постоянной воздушной скоростью без скольжения и крена на противоположных курсах, что позволит получить более точную оценку среднего ветра. При полете в прямом и обратном направлениях необходимо как можно более точно выдерживать одно и то же значение воздушной скорости. В этом случае погрешность определения средней скорости ветра не зависит от погрешности измерения воздушной скорости, а зависит от точности выдерживания одного и того же значения воздушной скорости в прямом и обратном направлении. Важно также как можно более точно выдерживать значения курса при движении в прямом и обратном направлении. Оценка градуировочных зависимостей может проводиться и в спокойной атмосфере (при отсутствии турбулентного ветра), т.е. в более благоприятных (в смысле точности оценки градуировки) условиях.

В результате первичной обработки летного эксперимента имеем массивы значений углов атаки и скольжения, которые пересчитываются в составляющие вектора воздушной скорости сначала в связанной, далее в земной системе координат с использованием данных об углах тангажа, крена и курса из ПНК. Вычисленные массивы значений составляющих вектора воздушной скорости содержат погрешности измерений, являющиеся следствием погрешностей измерений углов атаки и скольжения, приборной скорости и температуры. Задача состоит в том, чтобы получить оценки век-

торов путевой и воздушной скорости, более точные, т.е. компенсировать случайные погрешности измерения углов атаки и скольжения за счет высокоточных измерений параметров БИНС (путевых скоростей).

Для повышения точности оценки углов атаки и скольжения и величины воздушной скорости привлекаются также данные бортовых измерений СВС, БИНС и СНС, с помощью которых решаются следующие задачи:

- оценка составляющих скорости среднего ветра в условиях спокойной атмосферы (то есть в отсутствии турбулентности);
- определение градуировочной зависимости измеряемого местного угла атаки от истинного значения угла атаки;
- оценка составляющих скорости турбулентного ветра по измерениям СВС и БИНС в летном эксперименте.

*) Принятые сокращения

СВС - система измерения воздушных сигналов;
 БИНС - бесплатформенная инерциальная система;
 СНС - спутниковая навигационная система;
 ПНК - пилотажно-навигационный комплекс.

Список литературы

1. *Перегудов А.И. Поплавский Б.К. Сироткин Г.Н. и др. Верификация измерений при решении задачи идентификации математической модели ВС по материалам летных испытаний//Материалы XXIV научно-технической конференции по аэродинамике. - ЦАГИ, 2013*
2. *Собов А.Н., Рябошапка В.Г., Коньков, А.В. Варганов В.М., Чиркин Н.Н. Патент №2277698 «Способ градуировки датчика аэродинамического угла летательного аппарата», 2006.*
3. *Собов А.Н. Рябошапка В.Г., Варганов А.В. Патент №2331892 «Способ определения компонента скорости летательного аппарата», 2006.*
4. *Горбатенко С.А. Макашов Э.М., Полушкин Ю.Ф. и др. Механика полета, Москва, Машиностроение, 1969.*
5. *Доброленский Ю.П., Динамика полета в неспокойной атмосфере, Москва, Машиностроение, 1969.*

ЛОГИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОГО ГРУППОВОГО ПОЛЕТА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ИСКЛЮЧАЮЩИЙ ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ИХ МАРШРУТОВ

Optimal control and safety control of transverse movement of river and aircraft when crossing their routes

Д.А. Михайлин, А.В. Румакина

ФГБОУ ВО «МАИ», г. Москва

Д.А. Михайлин, канд. техн. наук, доцент, А.В.Румакина, ст. преподаватель

Поставленная задача логического анализа условий пересечения маршрутов решается в два этапа. На первом этапе на любом шаге планирования используется «жадный алгоритм» назначение каждому беспилотнику ближайшего пункта, на втором – проверка условий пересечения для выполнения в этом случае повторного перепланирования.

В случае группового полета двух беспилотников (БЛА) логический алгоритм содержит следующие операции:

среди всех пунктов выбираются два ближайших к БЛА по критерию суммы расстояний от них к каждому пункту;

одному из пунктов отдаётся право первого выбора «своего БЛА», второй пункт автоматически достаётся другому БЛА;

зная координаты двух пар точек, определяются параметры прямоугольной области опасного пересечения маршрутов и проверяются условия падения беспилотников в эту область, при которых пункты назначения меняются в маршрутах своими местами.

В случае группового полета 3 и более беспилотников Михайлиным Д.А. дополнительно предложены следующие логические операции:

вместо последнего неудачного назначения беспилотника, при котором обнаружен факт пересечения, берётся другой свободный от обслуживания беспилотник до тех пор, пока не будет найдено удачное сочетание;

если предыдущая операция тоже не даёт удачного ответа, то тогда принимается решение об отказе от «первой» попытки, заменив в ней беспилотник на выбранный во второй попытке вариант.

Таким образом, при отказе от обеих попыток будут использованы другие БЛА для образования нужных пар непересекающихся маршрутов.

Работа выполнена при материальной поддержке грантов РФФИ

№ 17-29-03185 и № 18-08-00463а.

Список литературы

1. Лебедев Г.Н., Тин ПхонЧжо, Зо Мин Тайк, Хахулин Г.Ф., Малыгин В.Б. Оптимальное управление и контроль безопасности поперечного движения речных и воздушных судов при пересечении их маршрутов // Новые технологии. Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. №12, с. 50 - 55.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АСИММЕТРИИ НА ГРАНИЦЫ ФЛАТТЕРА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Effect of technological asymmetry on flutter border of unmanned aerial vehicle

С.Г. Парафесь

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Анализируется влияние технологической асимметрии конструкции на границы флаттера беспилотного летательного аппарата (БЛА). Показано, что рули при наличии из-за технологических погрешностей разности в собственных частотах колебаний в полете взаимодействуют как поглощающие фильтры, препятствующие возникновению флаттера.

При математическом моделировании флаттера БЛА в ряде случаев фиксируется наличие неустойчивости, но в полете это явление не наблюдается. С одной стороны, данные факты можно объяснить несовершенством расчетной модели исследования аэроупругих колебаний БЛА:

приближенностью описания массово-инерционных, демпфирующих и жесткостных свойств конструкции, а также аэродинамического нагружения. Однако при использовании модели исследования аэроупругих колебаний БЛА на основе метода обобщенных координат с использованием форм собственных колебаний в качестве координатных функций, достоверность исследования флаттера существенно повышается после проведения модальных испытаний и продувок в аэродинамических трубах. Использование в расчетных моделях экспериментальных данных делают границы неустойчивости (критическая скорость

флаттера, частота флаттера), найденные с помощью этих моделей достаточно достоверными.

Как показывает практика, существенное влияние на границы флаттера оказывает реально существующая асимметрия в массово-инерционных, демпфирующих и жесткостных свойствах конструкции БЛА, которая не учитывается в традиционных моделях исследования аэроупругих колебаний БЛА [1]. Данная асимметрия вызвана неизбежными технологическими погрешностями, связанными с производственными процессами (любая конструкция всегда изготавливается с определенными допусками на размеры; разбросы имеют и характеристик конструкционных материалов и др.). Особое влияние на границы аэроупругой неустойчивости оказывает асимметрия в массово-инерционных, демпфирующих и жесткостных свойствах органов управления – аэродинамических рулей и элеронов, прежде всего разбросы значений их частот собственных колебаний. Если разбросы частот колебаний четырех рулей БЛА относительно оси вращения превышают значения 2,0 – 4,0 Гц, то в полете они могут взаимодействовать как поглощающие фильтры, препятствующие возникновению флаттера.

В [2] приведен пример из практики разработки БЛА класса «земля – воздух». Несмещенная оценка

$$P\{m_i - 2,0 \leq m_f \leq m_i + 2,0, i = 1, 2, 3, 4\} = \int_{m_f - 2,0}^{m_f + 2,0} \left[\frac{1}{\sigma_f \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - m_f)^2}{2\sigma_f^2}} \right]^4 dx = 0,0016.$$

Вероятность события весьма мала, поэтому в полетах опытных БЛА можно не отметить явление флаттера, если рули при наличии разности в собственных частотах колебаний взаимно поглощают энергию колебаний.

Список литературы

Парафесь С.Г., Смыслов В.И. Методы и средства обеспечения аэроупругой устойчивости беспилот-

среднеквадратичного значения для частоты собственных колебаний руля с рулевым приводом относительно оси вращения при амплитуде угла отклонения 0,5 градуса равна $\sigma_f = 2,572$ Гц. При колебаниях руля без рулевого привода (с заменой его жесткой тягой) эта величина равна $\sigma_f = 2,445$ Гц, при этом оценка математического ожидания частоты колебаний m_f выше на 16,518 Гц. Заметим, что разница для среднеквадратичного значения частоты колебаний руля с рулевым приводом при опытном производстве БЛА и при их серийном изготовлении составила $\Delta\sigma_f = 0,26$ Гц, а для математического ожидания частоты – $\Delta m_f = 2,525$ Гц. Эти же величины для колебаний без рулевого привода равны: $\Delta\sigma_f = 0,515$ Гц и $\Delta m_f = 1,547$ Гц. На основании центральной предельной теоремы теории вероятности можно считать, что закон распределения плотности вероятности для частоты колебаний руля приближается к нормальному. В этом случае вероятность события, заключающегося в том, что все четыре руля БЛА будут иметь разбросы значений частот колебаний в диапазоне 4,0 Гц, для реализованного значения математического ожидания частоты колебаний равна

ных летательных аппаратов. М.: Изд-во МАИ, 2013. – 176 с.

Испытания летательных аппаратов (беспилотные летательные аппараты). Учебник Изд. 2-е. / П.П. Афанасьев, А.Н. Геращенко, И.С. Голубев, В.В. Доронин, В.А. Жестков, И.П. Кириллов, С.Б. Лёвочкин, С.С. Лёвочкин, С.Г. Парафесь. – Калуга: Издатель Захаров С.И.(СерНа), 2016. – 528 с.

ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ИЗУЧЕНИЮ СВОЙСТВ АЛГОРИТМОВ НАВИГАЦИИ НА БАЗЕ АВИАСИМУЛЯТОРА FLIGHTGEAR

А.Н. Пронькин, М.А. Гайдай

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

М.А. Гайдай – студент каф. «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации», научный руководитель старший преподаватель А.Н. Пронькин

В работе рассматривается возможность создания программно-алгоритмического комплекса, построенного на базе авиасимулятора FlightGear [1,2]. Разрабатываемый программно-алгоритмический комплекс предназначен для изучения свойств алгоритмов ориентации и навигации летательного аппарата (ЛА)

и их анализа. В докладе представлены методы исследования навигационных алгоритмов, позволяющие провести анализ работы, с учётом особенностей динамики ЛА.

Одной из важнейших задач, стоящих перед студентами, которые обучаются на кафедре «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации» МАИ является изучение работы и анализ свойств навигационных алгоритмов различных приборов, систем и комплексов. Как правило, в ходе практических занятий из-за ограничения по времени, а также из-за сложности динамических уравнений ЛА удается исследовать работу навигационных алгоритмов на таких типовых траекториях как ортодромия и локсодромия [3]. При этом сам ЛА рассматривается как материальная точка без учёта инерционных сил, влияния ветра и других возмущений присущих реальному движению ЛА. Для решения вышеописанных проблем в ходе обучения студентов предлагается использовать такие средства моделирования полёта ЛА, как авиасимуляторы. Они позволяют реализовывать моделирование полёта ЛА, учитывая его конструктивные особенности, динамику, а также действующие на ЛА силы, моменты инерции. Дополнительными преимуществами использования авиасимуляторов является возможность ознакомления обучающихся с эргономикой кабины ЛА различных классов, приборным составом, а также с процедурами необходимыми для выполнения полётного задания. Среди имеющихся в свободном доступе авиасимуляторов в качестве базы для создания программно-алгоритмического комплекса были проанализированы Microsoft Flight Simulator компании Microsoft, X-Plane компании Laminar Research и FlightGear (открытый проект по созданию свободного авиасимулятора). Для создания программного комплекса, отвечающего вышеописанным задачам, был выбран авиасимулятор FlightGear, так как он обладает пре-

имуществами перед двумя другими: открытый программный код, что позволяет получить доступ к необходимым параметрам, свободная лицензия на использование, широкий спектр возможностей, большой выбор ЛА различных классов и гибкие настройки окружающей среды. Особенностью разрабатываемого программного комплекса является построение навигационных алгоритмов с использованием программного обеспечения MATLAB на основе имеющихся данных об абсолютной угловой скорости и кажущимся ускорении, на любом этапе полёта.

В докладе приводится концепция построения программно-алгоритмического комплекса на базе авиасимулятора FlightGear и методика проведения учебных работ по анализу и изучению свойств работы навигационных алгоритмов путём применения разработанного комплекса.

Список литературы

- Костин П.С., Верецагин Ю.О., Волошин В.А. "Программно-моделирующий комплекс для полунатурного моделирования динамики маневренного самолета". *Электронный журнал: "Труды МАИ"*, Выпуск №81. -30с.
- Кириллов А.В., Лёвкин И.Н., Прокофьев А.В. "Программно-аппаратный комплекс имитации режимов полёта самолёта". – Самара. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, т. 15, №6(3), 2013. -5с.
- И.И. Пomyкаев, Л.А. Дмитроченко, В.П. Селезнёв. "Навигационные приборы и системы". / Под ред. И. И. Пomyкаева, - М.: *Машиностроение*, 1983. -455 с.

РЕГУЛИРОВАНИЕ АСИММЕТРИИ ТЯГИ ТРДД МАГИСТРАЛЬНОГО САМОЛЁТА В ПОЛЁТЕ

Adjustment of turbojets thrust asymmetry of airliner in flight

В.М. Новичков, А.Ю. Бузова

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»

В докладе рассмотрены вопросы уменьшения асимметрии тяги двух турбореактивных двухконтурных двигателей самолёта, предложен способ регулирования асимметрии тяги таких двигателей при контроле тяги по двум её параметрам.

Использование двухвальных турбореактивных двухконтурных двигателей (ТРДД) двухдвигательной силовой установки (ДСУ) среднемагистрального самолёта (СМС) или дальнемагистрального самолёта (ДМС) часто приводит к возникновению асимметрии их тяги. Это происходит при неисправности одного из ТРДД в полёте из-за повреждения рабочих лопаток турбины компрессора низкого давления (КНД) и (или) рабочих лопаток

турбины компрессора высокого давления (КВД). Повреждение лопаток в полёте может возникнуть, например, из-за их эрозии мелкими частицами (песком), попадания в ТРДД птиц или градин. Возникшая асимметрия тяги ТРДД ДСУ создаёт разворачивающий момент сил, которые действуют на двухдвигательный СМС или ДМС в полёте [1].

С целью повышения безопасности полёта двухдвигательных СМС и ДМС была поставлена и решена задача регулирования асимметрии тяги их ТРДД по двум параметрам. В качестве параметров тяги ТРДД, в отличие от существующих подходов, выбраны частоты вращения обоих роторов ТРДД: КНД и КВД. Было проведено математическое и

программное моделирование зависимости асимметрии тяги ТРДД ДСУ от этих параметров с применением специально разработанной двумерной модели, описывающей зависимость тяги одного ТРДД от частот вращения обоих его роторов. Сама двумерная модель также была исследована [2].

Результаты проведенного исследования показали, что регулирование тяги ТРДД целесообразно осуществлять по двум параметрам, а не по одному, как это часто делается. При этом существует два основных случая: 1) управлять тягой неисправного ТРДД невозможно и двигатель отключается и 2) управление тягой возможно, но при наличии специальных корректирующих параметров. В первом случае ТРДД ДСУ автоматически отключается при снижении контролируемых значений частоты вращения ротора турбины КНД и (или) частоты вращения ротора турбины КВД ниже заданных значений. И продолжение полёта обеспечивается при повышении частоты вращения роторов исправного двигателя до их максимально допустимых значений. Во втором случае тяга повышается с учетом поправок к программе управления.

В обоих случаях проводится контроль соотношения заданных по программе и полученных по результатам контроля значений частот вращения одновременно двух роторов по каждому ТРДД. При этом необходимо осуществлять постоянное вычисление величин первых производных частот вращения роторов с учётом динамических свойств каждого ротора. Также в программе регулирования асимметрии тяги необходимо проводить сравнительный анализ соотношения результатов алгебраического суммирования замеряемых значений частот вращения ротора турбины КНД каждого ТРДД с вычисляемыми значениями их первых производных и допустимой величины такой частоты. Подобная операция должна проводиться для турбин КВД каждого ТРДД. Таким образом, решается многомерная задача контроля и компенсации асимметрии тяги однотипных ТРДД у СМС или ДМС с ДСУ [2].

Применение предложенного решения поставленной задачи повышает безопасность полёта самолёта путём постоянного регулирования асимметрии тяги с целью её уменьшения и/или компенсации. Регулирование идёт сразу по двум параметрам тяги, отслеживая возможность неисправности одного из ТРДД в полёте. Достоверность предложенного решения обеспечивается его соответствием известным результатам успешных научно-исследовательских работ. Обзор существующих способов решения этой задачи выявил новизну проведённого научного исследования, а патентный поиск по его тематике показал патентпригодность предложенного решения [1, 3, 4].

Список литературы

1. Дворниченко В.В. *Методология решения проблемных вопросов технической и лётной эксплуатации самолётов ГА и их ТРДД на стандартном и криогенных топливах с минимизацией «разнотяговости» ТРДД «на крыле»* : дис. ... докт. техн. наук. – М., 2006. – 627 с.
2. Новичков В.М., Бузова А.Ю. *Формализация принципа работы системы автоматического управления силовой установкой самолёта в полёте при асимметрии тяги его турбореактивных двухконтурных двигателей с минимальной «разнотяговостью»* // *Фундаментальные исследования*. – 2017. – № 11-2. – С. 311-319.
3. Скрипниченко В.Г. *Применение математического моделирования и теоретических методов при анализе особых случаев взлёта и посадки воздушных судов* : дис. ... докт. техн. наук. – М., 2005. – 438 с.
4. Пат. 2306446 Российская Федерация, МПК F02C 9/42. *Способ управления силовой установкой самолёта* / Иноземцев А.А., Семенов А.Н., Савенков Ю.С., Саженок А.Н., Трубников Ю.А., заявитель и патентообладатель ОАО «АВИАДВИГАТЕЛЬ». – №2005136774/06. Заявл. 25.11.2005, опубл. 20.09.2007, Бюл. №26. – 7 с.

СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ПОЛЕТА КВАДРОКОПТЕРА

Navigation systems for autonomous quadcopter flight

А.А. Морозов

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва

А.А. Морозов – аспирант кафедры «Проблемы управления»

Рассматриваются результаты исследования точностных характеристик существующих систем навигации для автономного полета квадрокоптера

В последнее время широкое развитие получило применение беспилотных летательных аппаратов – квадрокоптеров в различных сферах человеческой деятельности. При использовании квадрокоптеров важное значение имеет выбор системы навигации для автономных полетов. Самым очевидным является выбор спутниковых систем навигации (GPS, ГЛОНАСС и т.п.), однако подобные системы имеют ряд недостатков: возможность глушения, точность порядка 2-10м, невозможность принятия сигнала в помещении. На текущий момент существуют и другие подходы к навигации, исследованию которых и посвящен данный доклад.

Все существующие системы навигации для квадрокоптеров можно классифицировать по принципу получения информации о положении объекта: спутниковые, радионавигационные, ультразвуковые, визуальные, инерциальные, лидары.. Конкретные образцы требуют исследования.

Факторы, влияющие на точность следования квадрокоптера по траектории: точность используемой системы навигации, точность инерциальной системы навигации бортовой СУ, качество бортовой системы управления (настройка ПИД-регуляторов приводного уровня и тактического уровня), внешние возмущающие воздействия (аэродинамические силы, помехи датчиков и т.д.).

Эксперименты проводились по следующему сценарию: квадрокоптер в режиме автономного полета

запускался по заданной траектории. Во время эксперимента ведется запись данных по текущим координатам.

В качестве маячковой системы навигации исследовались: система на принципе ультразвуковой эхолокации, система на принципе ультраширокополосной радиосвязи, в качестве спутниковой – GPS и ГЛОНАСС, спутниковая система навигации с поправками от базовых станций – GPS-RTK, встроенная в полетный контроллер инерциальная система навигации, визуальная навигация.

Точность систем и особенности: GPS, ГЛОНАСС – 4 м (частота работы порядка 1 Гц), GPS-RTK – 0.1 м (1 Гц), MarvelMind – 0.1 м (25 Гц), Pozyx – 0.7 м (0,5 Гц), бортовая инерциальная система навигации – 0.7 м (50 Гц).

Выводы: в случае функционирования квадрокоптера на открытой местности следует использовать систему GPS-RTK. Для функционирования в помещениях следует использовать комплексированную информацию с группы различных систем. Ожидаемая точность в данном случае порядка 5 см. Работа выполнена при поддержке «Российского научного фонда» в рамках проекта №16-19-00052 «Синтез интеллектуальных регуляторов для систем управления мобильных объектов с высокой степенью управляемости».

Список литературы

PX4 User Guide [Электронный ресурс] /. — Электрон. текстовые дан. — Режим доступа: <http://docs.px4.io/en/>, свободный

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНСТРУКЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Complex analysis of design decisions to reduce the temperature of the construction of a high-speed unmanned aircraft

А.Б. Гусейнов, Г.А. Носов

Московский Авиационный Институт (национальный исследовательский университет)

Г.А. Носов – аспирант кафедры «проектирование и прочность авиационных, ракетных и космических изделий» (602), научный руководитель профессор А.Б. Гусейнов

Дана методика и описаны схемы технико-экономического анализа технических решений по снижению температур элементов конструкции высокоскоростного беспилотного летательного аппарата (БЛА) как по частным, так и по комплексному критерию.

Тепловое состояние поверхности конструкции планера БЛА определяется аэродинамическим нагревом, тепловыделением от внутренних источников тепла (бортового оборудования, двигательной установки (ДУ) и др.), радиационным теплообменом поверхности со средой. От температуры поверхности зависит тип конструкционного материала и его физико-механические свойства, масса и стоимость, сила теплового излучения и эффективность функционирования БЛА. И снижение температурных полей элементов конструкции высокоскоростных БЛА является актуальной задачей.

Анализ проектных решений по снижению температуры элементов конструкции может быть проведён на базе комплексного критерия – минимальные затраты на выполнение поставленной перед БЛА задачи при заданном уровне суммарной эффективности, $K = \min C_{вз}$ при $W_{\Sigma} = const$, т.е. $K = \min(C_{1п} \cdot n_{ла})$, где $C_{1п}$ – стоимость одного пуска; $n_{ла}$ – количество БЛА необходимое для выполнения задачи с заданной вероятностью.[1]

при применении в конструкции специальных технологических решений для снижения температуры (например, теплозащиты) с одной стороны увеличивается масса, стоимость и затраты на один пуск БЛА, т.е. первая составляющая комплексного критерия, а с другой уменьшается сила теплового излучения аппарата, повышается вероятность пре-

одоления им системы противовоздушной обороны и эффективность выполнения задачи, уменьшается потребны наряд (количество) БЛА для выполнения задачи, т.е. вторая составляющая комплексного критерия.

Технологическими решениями снижения температуры являются

- тепловая защита;
 - теплоаккумулирующие системы;
 - ламинаризация погранслоя;
 - теплозащитные экраны для элементов ДУ и реактивной струи;
 - конвективные системы охлаждения с жидким, твёрдым и газообразным рабочим телом;
 - массообменные системы охлаждения;
 - специальные селективные покрытия;
- и др.[2]

Для выбора рациональных проектных решений по принятому критерию необходимы математические модели определения основных характеристик рассматриваемых технических решений и функционирования БЛА в заданной операции. В работе сформулированы требования к необходимым для решения задачи математическим моделям проектных решений и БЛА в целом.

Список литературы

- 1. Гусейнов А.Б., Трусов В.Н. Проектирование малозаметных летательных аппаратов. – М.: Изд-во МАИ, 2014. – 288 с.*
- 2. Авхимович Б.М. Тепловое проектирование беспилотных атмосферных летательных аппаратов. – М.: Изд-во МАИ, 2002. – 104 с*

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОМПОНОВКИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Geometric models of automated layout of aircraft taking into account technological and ergonomic factors

Е Вин Тун

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

*Е Вин Тун – аспирант каф. «Инженерная графика»,
научный руководитель – профессор Л.В. Маркин*

В работе представлено построение геометрической модели пространства, необходимого монтажнику для установки и обслуживания размещаемого оборудования.

В задачах автоматизированной компоновки точность описания формы не является главным требованием – важнее выбрать геометрическую модель, позволяющую определять условие взаимного непересечения компонуемых объектов. Однако мы используем терминологию разработчика этого метода проф. Зозулевича Д.М. Суть метода, предложенного в середине 60-х годов прошлого века – описание объекта трехмерной матрицей $A = \{a_{i,j,k}\}$ размерностью $m \times n \times p$, каждый элемент которой – рецептор (воксель) имеет два состояния – «0» или «1». Рецептор с кодом "0" считается невозбужденным, если он лежит вне описываемого объекта, расположенный на границе или внутри объекта получает код "1". Преимущества метода – легкость выявления случаев пересечения компонуемых объектов (простым сравнением кодов рецепторов), недостаток - необходимость значительного объема компьютерной памяти, что сейчас не является ни технической, ни экономической проблемой.

Другой сложностью реализации рецепторных моделей является то, что они никогда не являются изначально заданными конструктором и требует значительных усилий и времени для своего формирования. Задача исследования - построение геометрической модели пространства, необходимого монтажнику для установки и обслуживания размещаемого оборудования. Суть предлагаемого метода –

описать возможную траекторию монтажного инструмента в пространстве как совокупность его мгновенных положений в процессе доставки и месту монтажа и выполнения рабочих операций. Очевидно, что эта траектория движения инструмента станет очень сложным по своей геометрической форме объектом, не имеющим своего точного аналитического описания. Однако если этот виртуальный объект удастся разместить среди ранее уже скомпонованных компонентов летательного аппарата, то это означает, что исследуемый объект доступен для монтажа и обслуживания данным инструментом. Если же нет – то анализируемая нами компоновка не отвечает требованиям технологичности и эргономичности. Для решения этой непростой задачи нам пришлось в рецепторных матрицах перейти от двузначной логики («0» и «1») к многозначной, что несколько усложняет метод моделирования, не изменяя однако, его сути.

Впрочем, выявление этого обстоятельства не является «приговором» для анализируемого конструктивного решения – возможен выбор других монтажных инструментов или изменение траектории их перемещения в зону рабочего пространства. Проведенные исследования показали, что несмотря на значительные массивы обрабатываемых данных, в силу однородности вычислительных операций, полностью производимых в оперативной памяти персонального компьютера, поэтому обработка рецепторных моделей занимает всего лишь несколько минут.

Секция 8. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ И СЕТЯХ

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА УРОВНЯ ГОРОДСКОГО ШУМА С ВЫЯВЛЕНИЕМ НЕНОРМИРОВАННЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЧЕЛОВЕКА

Measuring system for monitoring the level of urban noise with identification of non-normalized parameters of negative impact on human

М.А. Кононов, Н.А. Маркин, В.Н. Воронина

«МИРЭА – Российский технологический университет»

*Маркин Н.А. – магистр каф. «Приборы и информационно-измерительные системы»,
научный руководитель доцент Кононов М.А.
Воронина В.Н. – старший преподаватель кафедры «Управление»
Московского университета им. Витте*

В данной работе рассматриваются проблемы шумового загрязнения городской среды, далее создается алгоритм, позволяющий вести непрерывный контроль над шумовой атмосферой в городской инфраструктуре в течение длительного периода времени и разрабатывается его конструктивная реализация на базе промышленного ноутбука.

Среди факторов ухудшения качества городской среды акустические загрязнения занимают одно из ведущих мест. Установлено раздражающее действие шумов, вызывающих общее напряжение нервной системы человека в виде астенического, астено-вегетативного и астено-невротического синдромов. Наиболее часто встречаются жалобы на периодические головные боли, раздражительность, нарушение сна, повышенную утомляемость, а самой распространенной формой патологии является вегетативно-сосудистая дисфункция, гипертоническая болезнь, хроническая ишемическая болезнь сердца, аритмия. Шум вызывает повышение слухового порога. Особенно сильное негативное воздействие вызывают шумы, содержащие колебания с инфранизкими частотами, совпадающими с биоритмами человека [1].

До настоящего времени измерение шумов производится с помощью шумомеров, осуществляющих одномоментное измерение с заданной частотной и временной характеристикой в определенной точке [2]. При проведении измерений шумов оцениваются только мощностные характеристики. Нормируются громкость или уровень звукового давления. Но при этом не учитывается характер источника шума. То есть негативный визг трамвая, оценивается так же как успокаивающий шум дождя. К сожалению, существующие измерительные приборы не полностью учитывают специфику воздействия шумового сигнала на человека в условиях городской среды. В существующих устройствах мониторинга

отсутствует возможность документирования и непосредственная запись шумового сигнала. В лучшем случае, фиксируются какие-то конкретные параметры, такие как мощность, громкость, но обычно эти параметры просто выводятся на дисплей. Также при мониторинге требуется непосредственное присутствие человека, проводящего измерения, поэтому, проведение непрерывного длительного мониторинга невозможно.

Был разработан алгоритм и программное обеспечение для мониторинга городского шума. Предполагается кроме измерения стандартных характеристик, но и в непрерывном режиме фиксировать сигнал на большой длительности и анализировать его по ряду параметров определяющих негативное воздействие.

Также было проведено исследование по определению минимальной скорости записи позволяющей избежать потерю негативных признаков. Результатом исследований стало нахождение оптимально допустимой скорости сжатия сигнала, при котором искажения при непрерывном мониторинге в течение длительного времени минимальны (96 кбит/с) [3].

Данный алгоритм реализован в виде программного обеспечения которое может быть установлено на любой ноутбук, а при работе Санитарно эпидемиологических служб в вандалозащищенном корпусе который может быть надолго размещен в точке измерения.

Благодаря этим исследованиям и использованию вышеуказанного программного обеспечения, измерение параметров шума стало возможным для непрерывного мониторинга, но при этом непосредственное присутствие человека необходимо только при моменте установки системы в зоне мониторинга.

Список литературы

1. Суворов Г. А., Прокопенко Л. В., Якимова Л. Д. «Шум и здоровье (эколого-гигиенические проблемы)» - М.: Союз, 1996. - 150 с.
2. Карагодина И. Л., Осипов Г. Л., Шишкин И. А. «Борьба с шумом в городах». - М.: Медицина, 1972. - 159 с.

3. Донцова Г.А., Мишенков С.Л., Попов О.Б., Рихтер С.Г. «Сжимать звуковой сигнал – вредно, но очень хочется!» (Вопросы объективной оценки искажений в каналах с эффективным сжатием звукового сигнала) / BROAD-CASTING. Телевидение и радиовещание.

ИНТЕГРАЦИЯ WIFI/GSM МОДУЛЯ В ЛОГИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ БЫТОВЫХ ПРИБОРОВ

Integration of WIFI/GSM module into logical system of household devices

С.Ф. Мирсаитов, А.М. Тимофеев

МИРЭА – Российский Технологический Университет

А.М. Тимофеев – студент кафедры «Приборы и информационно-измерительные системы»,
научный руководитель – к.т.н., доцент С.Ф. Мирсаитов

Доклад посвящен возможности интеграции WIFI/GSM модуля в логическую систему бытовых и профессиональных электронных приборов.

Сложные бытовые приборы занимают важное место в нашей жизни! Жизнь современного человека нельзя представить без: смартфонов, телевизора, компьютера, современной электронной бытовой техники.

Целью данной работы является изучение возможности интеграции WIFI/GSM модуля в логическую систему бытовых и профессиональных электронных приборов. Изучение проводилось с использованием бытовой автоматической кофемашины. В электронную логическую систему прибора, был интегрирован WIFI/GSM модуль. Была показана возможность корректной работы данного прибора с этим модулем. На следующем этапе работы удалось добиться отображения информации от модуля на основном дисплее кофемашины (прогноз погоды, курсы валют). Показана возможность отображения другой полезной информации по запросу пользователя. Планируется изучение возможности удаленного тестирования и снятия статистики работы кофемашины.

Благодаря интегрированию WIFI/GSM модуля в логическую систему прибора, появилась возможность уйти от привязки к WIFI сетям. Это дало возможность удаленного управления прибором, создание индивидуальных настроек напитка, а также появлению возможности отслеживать его местонахождение и, при необходимости, заблокиро-

вать. С этой целью разрабатывается приложение для смартфонов и планшетов.

В состав WIFI/GSM модуля входит сим-карта, привязанная к стране проживания пользователя, что позволяет исключить нелегальный ввоз товара. В аппаратах, изначально не предназначенных для ввоза в РФ, будет необходима замена WIFI/GSM модуля и его перепрошивка.

Изучается возможность работы кофемашины совместно со смарт- часами и разрабатывается алгоритм их взаимодействия. Это позволит информировать пользователя, например, о нежелательности употребления кофейных напитков из-за высокого давления или неблагоприятных погодных условий. Совместная работа со смарт часами позволит подобрать кофемашине индивидуальные настройки крепости и объема напитка для клиента, исходя из его самочувствия, артериального давления, суточной активностью и др.

Список литературы

1. В.И. Попов *Основы сотовой связи стандарта GSM.* –М.: Эко-Трендз, 2005.-296с.: ил.
2. Е.В. Смирнова, А.В. Пролетарский, Е.А. Ромашкина, С.А. Балюк, А.М. Суворов *Технологии современных беспроводных сетей Wi-Fi : учебное пособие / [Е. В. Смир-Т38 нова, А. В. Пролетарский и др.] ; под общ. ред. А. В. Пролетарского. — Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017 – 446, с. : ил. – (Компьютерные системы и сети).*
3. В. Олифер, Н. Олифер *«Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник» (2016)*

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ РЕШЕНИЙ ДВУХ БЕСКАРДАННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ, УСТАНОВЛЕННЫХ НА СТОПЫ, ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НАВИГАЦИИ ПЕШЕХОДА

Fusion of data from two strapdown inertial navigation systems, mounted on feet, for pedestrian navigation

А.В. Брагин, Ю.В. Болотин

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

А.В. Брагин – студент кафедры «Прикладной механики и управления»,
научный руководитель: профессор Болотин Ю.В.

Исследуются способы повышения точности решения задачи навигации пешехода с использованием БИНС, прикрепленных к стопам. Рассматривается алгоритм корректировки навигационных решений БИНС с использованием информации о максимальном расстоянии между ними. Также предлагается модификация алгоритма коррекции навигационных решений по нулевой скорости. Приводятся результаты обработки экспериментов.

Исследуется задача навигации пешехода с использованием БИНС, прикрепленных к стопам [1]. Используемые малогабаритные БИНС на микроэлектромеханических сенсорах имеют невысокую точность. Это приводит к быстрому уходу некорректируемых навигационных решений. В связи с этим применяются методы коррекции навигационных решений по неинерциальной информации.

Одним из таких методов является коррекция по нулевой скорости [2]. Используется информация о неподвижности стопы пешехода в фазе опоры, т.е. когда человек ставит ногу на землю. Данная информация трактуется как измерение скорости БИНС и используется в фильтре Калмана, в котором производится оценка ошибок БИНС. Навигационное решение корректируется при помощи полученных оценок ошибок. Особенностью алгоритма коррекция по нулевой скорости является ненаблюдаемость курса. В докладе показано, что запись условия нулевой скорости требует определенной аккуратности, в противном случае возникает ложная наблюдаемость курса, которая проявляется в уменьшении ковариации ошибки оценки курса. Неверное вычисление ковариаций может стать проблемой при оценке точности навигационных решений или при учете дополнительных измерений. В работе применен подход к формированию измерений нулевой скорости, который основывается на понятии динамических ошибок [3]. С его помощью удается получить соответствующее информационно-теоретическое поведение ковариации ошибки оценки курсового угла.

Другим методом коррекции является использование информации о расстоянии между БИНС, прикрепленными к левой и правой стопам пешехода.

Из физиологических соображений ясно, что это расстояние не может превышать определенной константы – например, максимальной длины шага. Существуют различные подходы к использованию такой информации [4,5]. В работе развивается метод, описанный в [4]. Основная идея такова: если расстояние между БИНС становится больше определенной величины, вектор состояния (координаты, скорости, параметры ориентации БИНС) проектируется на подпространство, в котором это расстояние не будет превышать вышеупомянутую величину. Эта процедура позволяет избежать неестественного поведения решений, когда траектории БИНС, прикрепленных к разным ногам, расходятся на большое расстояние. Предложена модификация данного способа, подразумевающая коррекцию вектора ошибок БИНС вместо вектора состояния. Данная модификация улучшила качество коррекции. В частности, можно показать, что при этом разность ошибок курсового угла левой и правой БИНС оказывается наблюдаемой.

Был исследован алгоритм редукции вектора состояния, т.е. переход от «полного» вектора состояния БИНС, содержащего координаты, скорости и параметры ориентации, к «укороченному» вектору состояния, содержащему координаты и курс. Установлено, что работа с «укороченным» вектором состояния не снижает качества решения навигационной задачи.

Все описанные алгоритмы коррекции реализованы программно и проверены на реальных данных. Применение вышеупомянутых подходов позволило улучшить точность решения задачи навигации пешехода.

Список литературы

Nilsson et al. //Foot-mounted INS for everybody – An open-source embedded implementation, in Proc. of the Position Location and Navigation System (PLANS) Conference, SC, USA, Apr. 2012.

I. Skog et al. // Zero-velocity detection – An algorithm evaluation, IEEE Trans. Bio-Med. Eng., vol. 57, no. 11, pp. 2657–2666, Nov. 2010.

Голован А.А., Парусников Н.А. // *Математические основы навигационных систем*, М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2010. Т. 1–3.
 Nilsson et al. // *Cooperative localization by dual foot-mounted inertial sensors and inter-agent ranging*.

EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 2013 2013:164.
 D. Zachariah et al. // *Bayesian estimation with distance bounds*, *IEEE Signal Processing Letters*. Volume: 19, Issue: 12, Pp:880-883.

ЗАДАЧА КОРРЕКЦИИ БЕСКАРДАННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПОМОЩИ ДАННЫХ ОТ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ДВУХАНТЕННОЙ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Aiding of inertial navigation system by means of data provided by rotating dual antenna GNSS receiver

В.М. Железнов, А.А. Голован

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

В.М. Железнов – студент кафедры «прикладной механики и управления»,
 научный руководитель д.ф.-м.н. А.А. Голован

Анализируются точностные возможности решения задачи коррекции бескарданной инерциальной навигационной системы с использованием данных двухантенного GNSS приемника. Рассмотрены две постановки задачи коррекции, когда используется вторичная информация от GNSS приемника, и когда используются дополнительно первичные фазовые измерения.

Исследуется задача навигации подвижного объекта, навигационный комплекс которого состоит из бескарданной навигационной системы (БИНС) и приемника спутниковых сигналов с двумя разнесенными антеннами. Антенны расположены на платформе, которая может как покоиться, так и равномерно вращаться относительно вертикальной строительной оси объекта. В этом случае предполагается наличие точного датчика угла поворота платформы относительно корпуса. В состоянии покоя антенны разнесены вдоль продольной оси объекта.

В отличие от стандартных постановок задач коррекции БИНС при помощи позиционных, скоростных данных одноантенного GNSS приемника, здесь рассматривается задача дополнительного привлечения для коррекции БИНС вторичной информации о координатах базового вектора – вектора, соединяющего фазовые центры антенн – определяемых GNSS приемником. Второй рассмотренный вариант – использование для коррекции БИНС первичных фазовых измерений от каждой из антенн. Рассмотрен случай, когда антенны установлены стационарно на корпусе объекта и разнесены вдоль его продольной оси. Второй рассмотренный случай – когда антенны установлены на платформе, совершающей вращение вокруг вертикальной строительной оси объекта. При этом дополнительно используются показания датчика угла поворота платформы относительно корпуса.

Задача коррекции БИНС сводится к решению задачи оценивания калмановского вида, компонентами вектора состояния которой служат ошибки инерци-

ального счисления БИНС и некоторые параметры инструментальных погрешностей инерциальных датчиков. Задача коррекции решается путем введения корректирующих обратных связей, определяемых алгоритмом оценивания, в навигационный алгоритм счисления.

Особенностью использования первичных фазовых измерений для коррекции является задача оценивания целочисленных неопределенностей, характеризующих неизвестное число длин волн несущей частоты радиосигнала. В докладе рассмотрены случаи использования только фильтра Калмана для оценивания целочисленных погрешностей и в связке с LAMBDA методом.

Приводятся результаты анализа точности коррекции БИНС для разных указанных постановок задачи коррекции. Исследование задачи проведено на модельных данных.

Список литературы

Голован А.А., Парусников Н.А. *Математические основы навигационных систем. Часть I. Математические модели инерциальной навигации*. 3-е издание, исправленное и дополненное. – М.: МАКС Пресс, 2011. – 136 с.

Голован А.А., Парусников Н.А. *Математические основы навигационных систем. Часть II. Приложение методов оптимального оценивания к задачам навигации*. 2-е издание, исправленное и дополненное. – М.: МАКС Пресс, 2012. – 172 с.

Вавилова Н.Б., Голован А.А., Парусников Н.А., Трубников С.А. *Математические модели и алгоритмы обработки измерений спутниковой навигационной системы GPS. Стандартный режим*. Перездание, исправленное и дополненное. – М.: Издательство МГУ, 2009. – 96с.

De Jonge, Paul & Tiberius, C.C.J.M.. (1998). *The LAMBDA method for integer ambiguity estimation: implementation aspects*. *Delft Geodetic Computing Centre LGR Series*. 12.

ОЦЕНКА РАССИНХРОНИЗАЦИИ ПОКАЗАНИЙ ГИРОСКОПОВ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Estimation of a Timing Skew between Gyroscope Measurements in Inertial Navigation System

Ф.С. Капралов, А.В. Козлов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Ф.С. Капралов – студент кафедры Прикладной механики и управления,
научный руководитель к.ф.-м.н. Козлов А.В.

В инерциальных навигационных системах может существовать рассинхронизация показаний гироскопов во времени, приводящая к ошибкам счисления ориентации. Для алгоритмической компенсации этой ошибки необходимо оценить величину рассинхронизации гироскопических трактов. Поэтому проводятся эксперименты на поворотном стенде, в которых рассинхронизация проявляется в виде ошибки навигационного решения и может быть оценена. Исследовано влияние погрешностей инерциальных датчиков на оценку рассинхронизации и описана соответствующая методика калибровки, практически не чувствительная к инструментальным погрешностям системы и стенда.

Инерциальные навигационные системы (ИНС) основаны на интегрировании классических уравнений движения твёрдого тела, которые включают в себя динамическую и кинематическую часть. Вторая из них необходима для определения ориентации и использует показания гироскопов, измеряющих компоненты вектора абсолютной угловой скорости системы. Определение ориентации является критически важной частью навигационного алгоритма, так как вычисленные параметры ориентации используются для совмещения в одной системе координат измеряемого ньютонометрами вектора удельной силы (кажущегося ускорения) и гравитационного ускорения. Ошибки определения ориентации могут существенно исказить проекции гравитационного ускорения и привести к росту не только ошибки ориентации, но и позиционного решения.

В уравнениях движения все три компоненты угловой скорости должны относиться к одному моменту времени. При разработке ИНС этому уделяется большое внимание. Тем не менее, на стыке аппаратной и программной части могут возникать различные тонкости. Диспетчеризация вычислительных процессов, последовательность опроса регистров измерительных данных, фильтрация, вносящая фазовые задержки, предварительные вычисления с измерениями и просто малозначительные ошибки в программном коде могут приводить к

постоянному рассогласованию гироскопических измерений во времени. Исходя из опыта авторов, большинству инженеров-разработчиков это известно, однако необходимый уровень точности синхронизации гироскопических каналов часто недооценивается. Задержки во времени в пределах «небольшой» доли такта интегрирования обычно кажутся вполне приемлемыми из общих соображений. Между тем, можно непосредственно проверить, что рассинхронизация на уровне первых микросекунд может вызывать заметные ошибки навигационного решения при вполне возможных движениях ИНС, скажем в виброиспытаниях или при качке на поверхности воды.

Несмотря на то, что в высокоточных серийных системах описанные эффекты, скорее всего, устранены, очень мало публикаций [1-2] посвящено их калибровке. Рассматриваемый в докладе способ калибровки практически позволяет достигать на два порядка более высокой точности за счёт проведения специального эксперимента с движениями, в которых рассинхронизация измерения гироскопов ИНС проявляется значительно, а влияние на её оценку остальных инструментальных погрешностей может быть устранено.

Исследование поддержано грантом РФФИ 19-01-00179.

Список литературы

1. Богданов, О.Н., Фомичёв, А.В. О влиянии задержек в трактах датчиков угловой скорости на точность навигационного решения бесплатформенной инерциальной навигационной системы // *Гироскопия и навигация*. 2018. №2. С. 15–28.
2. Климкович, Б.В., Толочко, А.М. Определение запаздываний в измерительных каналах при калибровке БИНС в инерциальном режиме // *Гироскопия и навигация*. 2015. №2. С. 55–66.

ЗАДАЧА НАЧАЛЬНОЙ ВЫСТАВКИ БЕСКАРДАННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА КАЧАЮЩЕМСЯ ОСНОВАНИИ

Initial Alignment of a Strapdown Inertial Navigation System on a swinging base

П.Ю. Кузнецов, А.А. Голован

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

*П.Ю. Кузнецов – студент кафедры «прикладной механики и управления»,
научный руководитель д.ф.-м.н. А.А. Голован*

Описывается алгоритм решения задачи выставки бескарданной инерциальной навигационной системы (БИНС) на условно неподвижном основании, когда предполагается, что точка установки БИНС неподвижна, а корпус БИНС может совершать неконтролируемые угловые движения. Основная идея алгоритма состоит в осуществлении процедуры осреднения показаний акселерометров в осях («замороженного») в инерциальном пространстве приборного трехгранника БИНС по его положению в начальный момент времени. Показывается, что такой прием позволяет нивелировать неконтролируемые угловые движения корпуса на этапе выставки БИНС.

В докладе излагается подход к построению алгоритма выставки БИНС на условно неподвижном основании, когда предполагается, что точка установки БИНС неподвижна, а корпус БИНС может совершать неконтролируемые угловые движения. Цель задачи выставки – определение углов курса, крена и тангажа, возможно широты места (для контроля), при помощи показаний инерциальных датчиков – акселерометров и датчиков угловой скорости (ДУС). Традиционную процедуру непосредственного осреднения показаний акселерометров, с целью последующего определения углов крена и тангажа, предлагается изменить. А именно, предлагается осреднение показаний акселерометров осуществлять в осях «замороженного» в инерциальном пространстве приборного трехгранника БИНС по его положению в начальный момент времени.

Некоторые детали алгоритма. В начальный момент времени фиксируется положение приборного трехгранника, которое отождествляется с инерциальной системой отсчета. Матрица ориентации текущего приборного трехгранника, относительно начального, удовлетворяет кинематическому уравнению Пуассона, которое численно решается, используя показания ДУС.

В текущем приборном трехграннике показания акселерометров – это вектор удельной силы тяжести.

Используя решение уравнения Пуассона, показания акселерометров проектируются на инерциальное пространство (замороженный приборный трехгранник в начальный момент времени). Можно показать, что полезные сигналы спроектированных показаний акселерометров являются линейными комбинациями функций от $\sin(ut)$, $\cos(ut)$, где u – абсолютное значение угловой скорости вращения Земли, t – время. Применяя метод наименьших квадратов (например, в итерационной форме) можно определить (оценить) значения весовых коэффициентов таких разложений.

После аппроксимации, осуществляет обратная перепроектировка сглаженных показаний акселерометров в текущие оси приборного трехгранника, после чего вычисляются текущие значения углов крена и тангажа.

Кроме того, матрица ориентации текущего положения приборного трехгранника, относительно своего начального положения, определяется цепочкой произведений матриц элементарных поворотов, зависящих от углов курса, крена, тангажа, широты, долготы, абсолютного значения угловой скорости земли и времени. Показывается, что на основе соответствующих матричных равенств можно получить уравнения и для определения угла курса.

Показана работоспособность алгоритма выставки на модельных и экспериментальных данных.

Список литературы

- 1. Голован А.А., Парусников Н.А. Математические основы навигационных систем Часть II. Приложение методов оптимального оценивания к задачам навигации. 2-е издание исправленное и дополненное. – М.: МАКС Пресс, 2012. -172 с.*
- 2. Голован А.А., Парусников Н.А. Математические основы навигационных систем. Часть I. Математические модели инерциальной навигации. 3-е издание, испр. и доп. – М.: МАКС Пресс, 2011. -136 с.*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОЗИЦИОННЫХ И СКОРОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ ИНТЕГРАЦИИ ИНС-ГНСС В ЗАДАЧЕ ВЕКТОРНОЙ АЭРОГРАВИМЕТРИИ

Comparative analysis of positioning and velocity models of INS-GNSS integration in airborne vector gravimetry

Г.И. Мызников, В.С. Вязьмин

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Г.И. Мызников – студент кафедры прикладной механики и управления,
научный руководитель – с.н.с. к. ф.-м. н. В.С. Вязьмин

В докладе рассматривается задача определения всех трех компонент вектора силы тяжести Земли по аэрогравиметрическим измерениям. Задача ставится как задача коррекции ИНС (инерциальной навигационной системы) по данным ГНСС (глобальной навигационной спутниковой системы). Проводится сравнение двух подходов к решению на основе позиционных моделей интеграции ИНС-ГНСС и скоростных моделей. Представлены результаты сравнения двух подходов, полученные обработкой модельных данных.

Аэрогравиметрия – прикладная наука об измерении вектора возмущения силы тяжести Земли с борта летательного аппарата. Вектором возмущения называется разность векторов нормальной и реальной силы тяжести. Определение компонент этого вектора проводится в режиме постобработки по собранным во время полета данным ИНС и ГНСС. В результате таких вычислений строятся карты компонент вектора возмущения силы тяжести для различных местностей, которые в свою очередь играют важную роль в разведочной геофизике, геодезии, навигации, геодинамике, сейсмологии и пр.

Для построения уравнений векторной аэрогравиметрии рассматривается движение материальной точки в поле силы тяготения под действием некоторой измеряемой акселерометрами внешней силы. В качестве материальной точки выступает приведенная чувствительная масса блока акселерометров. Для описания ее движения, используя основные соотношения ньютоновой механики, строятся модельные уравнения. При этом для определения ориентации приборов в опорной системе координат необходимы данные с датчиков угловой скорости. Помимо этого, в вычислитель поступает информация о положении аппарата в географической системе координат, которая будет использована для коррекции решений, получаемых при численном интегрировании в вычислителе.

Решением этих уравнений является результат численного интегрирования уравнений движения в географической системе координат. В дальнейшем полученное модельное решение сравнивается с решением, полученным от приемника ГНСС. При построении уравнений, описывающих поведение ошибок ИНС, возникает величина, характеризую-

щая разность значений истинного вектора силы тяжести и модельного в определенной точке (вектор возмущения). Под модельным значением здесь понимается нормальное поле силы тяжести, вычисляемое по формуле Гельмерта.

Фазовый вектор системы дифференциальных уравнений, описывающих поведение ошибок ИНС, состоит из ошибок координат, скорости, угловых ошибок и параметров модели вектора возмущения силы тяжести (в работе взята модель в виде одной гармоники). Корректирующей информацией является позиционное решение ГНСС. Целью работы является сравнительный анализ указанной позиционной модели интеграции ИНС-ГНСС со скоростной, основанной на предположении об абсолютно точном позиционировании по ГНСС и в случае которой фазовый вектор не содержит ошибки координат [2].

В каждом из случаев задача аэрогравиметрии формулируется в виде линейной задачи оптимального оценивания вектора возмущения силы тяжести. В качестве критерия оптимальности используется минимум дисперсии ошибки оценки. Алгоритм решения задачи – фильтр Калмана. При практической реализации алгоритма оценивания используется численная модификация дискретного фильтра Калмана, основанная на так называемом методе квадратного корня.

В докладе приводятся результаты сравнения методов решения задачи векторной аэрогравиметрии, основанных либо на позиционной, либо на скоростной моделях интеграции ИНС-ГНСС.

Исследование поддержано грантом РФФИ 19-01-00179.

Список литературы

- Голован А.А., Парусников Н.А. *Математические основы навигационных систем. Часть I. Математические модели инерциальной навигации*. М.: изд-во МГУ, 2010.
- Ю.В. Болотин, В.С. Вязьмин. *Спектральный анализ точности векторной аэрогравиметрии. Фундаментальная и прикладная математика, 2018. Т. 22, №2. С. 33–57.*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ И СКОРОСТИ ОБЪЕКТА
ПРИ ПОМОЩИ КОДОВЫХ, ДОПЛЕРОВСКИХ И ФАЗОВЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.
ДЕКОМПОЗИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ**

**Determination of coordinates and velocity of a GNSS receiver using code,
Doppler and carrier phase measurements. Decomposed algorithm**

Д.И. Смольянов, А.А. Голован

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

*Д.И. Смольянов – студент кафедры прикладной механики и управления,
научный руководитель профессор А.А. Голован*

Представлен оригинальный подход к решению навигационной задачи – задачи определения координат и вектора скорости – на основе обработки первичных спутниковых измерений: кодовых псевдодальностей, доплеровских псевдоскоростей, фазовых измерений. Подход основан на декомпозированном представлении соответствующих задач оценивания. Алгоритмы могут быть востребованы, прежде всего, в задачах обработки фазовых измерений одноантенных, многоантенных спутниковых приемников, а также для функциональной диагностики первичных спутниковых измерений.

В докладе излагается оригинальный подход к решению навигационной задачи – задачи определения координат и вектора скорости объекта, на основе обработки первичных спутниковых измерений: кодовых псевдодальностей, доплеровских псевдоскоростей, фазовых измерений. Подход основан на декомпозированном представлении соответствующих задач оценивания.

Идея, лежащая в основе декомпозированного алгоритма, состоит в следующем. Для случая кодовых измерений, предлагается, вместо прямого оценивания трех ошибок определения координат (в случае трехмерной навигации), оценивать ошибки определения первых разностей дальностей объект-спутник. Первые разности используются для исключения погрешности часов приемника в моделях задачи. Для указанного избыточного набора фазовых переменных – ошибок дальностей - формализуется задача оценивания, допускающая декомпозированное по компонентам вектора измерений представление. Далее по оценкам псевдодальностей определяется искомая оценка трехмерного вектора ошибки координат. Аналогичные декомпозированные структуры возникают в задаче обработки доплеровских и фазовых измерений.

В случае доплеровских измерений компонентами фазового вектора задачи оценивания служат ошибки определения первых разностей радиальных скоростей по линиям объект-спутник.

Для случая обработки фазовых измерений учитывать особенность – наличие целочисленных неопределенностей этих измерений, которые также необходимо оценивать, что отличает эту задачу от кодовой и доплеровской задач.

Показывается, что сформулированная выше идея построения алгоритмов оценивания позволяет декомпозировать общий алгоритм на ряд параллельно работающих фильтров единичной размерности (для кодовых и доплеровских измерений), вместо одного фильтра размерности три, как в стандартном алгоритме.

В случае фазовых измерений – на ряд фильтров размерности два, где второй компонентой декомпозированных фильтров является соответствующая комбинация целочисленных неопределенностей.

Представляемые алгоритмы могут быть востребованы, прежде всего, в задачах обработки фазовых измерений одноантенных, многоантенных спутниковых приемников, а также для функциональной диагностики первичных спутниковых измерений.

Приводятся результаты отработки алгоритмов методом математического моделирования.

Список литературы

1. Вавилова Н.Б., Голован А.А., Парусников Н.А., Трубников С.А. // Математические модели и алгоритмы обработки измерений спутниковой навигационной системы GPS. Стандартный режим. 2009. Испр. и доп. переиздание Изд. МГУ Москва, 96 с.

НАВИГАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА БАЗЕ ARDUINO

Arduino-based unmanned vehicle navigation system

А.А. Клопков, И.М. Кузнецов

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
национальный исследовательский университет»

Научный руководитель – старший преподаватель кафедры 305 И.М. Кузнецов

Целью работы являлось исследование возможности построения прототипа комплексной навигационной системы беспилотного транспортного средства с использованием экономически доступной элементной базы и вычислителя на базе Arduino – платформы с открытым исходным кодом, основанной на простом в использовании оборудовании и программном обеспечении. Представлены математические модели подсистем комплекса и его аппаратная реализация, результаты имитационного и полунатурного исследований основных режимов работы комплекса.

Разработка беспилотных транспортных средств на сегодняшний день является актуальной задачей, однако, как концепция («автоматическая система»), беспилотный автомобиль до конца не реализован в связи с рядом факторов, препятствующим этому. Переход к концепции беспилотного автомобиля, когда от человека ничего не требуется кроме старта системы и указания пункта назначения, на сегодняшний день невозможен по ряду ограничений: это и технические проблемы, и трудности системной интеграции, и инфраструктурные особенности. Так, например, в части нормативной документации – на сегодняшний день до сих пор отсутствуют требования, выдвигаемые к навигационному обеспечению БТС. Результаты проведенных испытаний существующих бортовых систем ТС (ГНСС-приемников) [1] сводятся к следующим рекомендациям - необходимости повышения точности и помехозащищенности навигационного обеспечения ТС как для внедряемых в настоящее время систем, так и планируемых, а также использовании наиболее перспективного метода борьбы с явлением переотражения сигналов ГНСС в условиях городской застройки [2] – подхода к построению комплексной навигационной системы с применением современных методов совместной обработки информации от приёмника ГНСС, инерциальных датчиков, одометрических измерений и других датчиков, и систем ТС. Преимуществом такого подхода является не только повышение точности определения параметров движения ТС, но и возможность повышения помехозащищенности навигационного решения. В рамках работы состав навигационного комплекса был представлен минимально-необходимым набором измерителей, включающим блок микромеханических инерциальных датчиков – акселерометров и ДУС, ГНСС-приемник с антенной, трехосевой компас-магнитометр и датчик давления, совместимые с основной платой-вычислителем на базе

Arduino [3]. Выбор был обусловлен проверкой принципиальной возможности построения комплексной навигационной системы на базе этой аппаратной платформы, как наиболее доступной для решения поставленной задачи с целью построения прототипа комплекса. Опционально такой состав может быть расширен и другими датчиками и подсистемами, например, подсистемой визуальной одометрии с использованием радаров/лидаров, позиционированием на основе Wi-Fi, системой привязки дорожной карты, технологии сопоставления затенений сигналов ГНСС и т.д.

Работа навигационного комплекса строится на использовании моделей ошибок подсистем комплекса, ядром которого является БИНС, также представленная моделью ошибок (вектор состояния – 13 компонент), оценки которых вырабатываются на основе совместной обработки информации с использованием оптимального фильтра Калмана. Вектор измерений максимальной размерности для навигационного комплекса рассматриваемой структуры включает 5 компонент: координаты, скорости и курс. Работа комплекса была реализована в режиме постобработки измерений, полученных от реальных датчиков и подсистем в среде разработки Arduino IDE и системы математического моделирования Matlab. С помощью имитационного моделирования и натурных испытаний были получены уровни достижимых точностей работы комплекса, показывающие принципиальную возможность реализации такого рода систем с использованием открытой аппаратной платформы. Разработанный прототип может использоваться в учебном процессе с целью исследования свойств комплексных навигационных систем.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Задание №8.2118.2017/4.6 на выполнение НИР в рамках проектной части госзадания в сфере научной деятельности).

Список литературы

ПРОТОКОЛ № 1/2015 натурных испытаний НАП с использованием мобильной измерительно-диагностической лаборатории (МИДЛ), URL: https://www.glonass-iac.ru/GLONASS/midlReports2/Report2015_1.pdf (дата обращения: 14.05.2019)

Антонов Д.А., Жарков М.В., Кузнецов И.М., Чернодубов А.Ю. Методы повышения точности и помехозащищенности навигационного обеспечения транспортного средства // Труды МАИ, 2016. №90. URL:

<http://trudymai.ru/published.php?ID=74758> (дата обращения: 15.05.2019)

Клопков А.А. Навигационный комплекс беспилотного городского такси / «Гагаринские чтения – 2019»: Сборник тезисов докладов. – М.: МАИ, 2019. 182 с.

ТЕХНОЛОГИЯ УСТРАНЕНИЯ ВЛИЯНИЯ УСКОРЕНИЯ НА ПОКАЗАНИЯ МЭМС-ГИРОСКОПОВ Technology of elimination acceleration influence on MEMS gyroscopes measurements

А.А. Крылов
МАИ

А.А. Крылов – аспирант кафедры 305, научный руководитель доцент К.К. Веремеенко

В данном докладе описана технология калибровки, включающая методику оценки влияния линейного ускорения в диапазоне 0...100g на показания МЭМС гироскопов и предложен способ устранения смещения нуля, вызванного этим линейным ускорением, в ходе калибровки. Приводятся основные результаты применения разработанной технологии.

Расширение области применения МЭМС-датчиков позволяет снижать цену изделий и уменьшать их массогабаритные характеристики. Однако при воздействии различных внешних факторов возможны изменения внутренних характеристик датчиков, что должно быть учтено на этапах проектирования и калибровки. В случаях применения гироскопов (ГИБ) или БИНС на МЭМС-датчиках в ракетах, самолётах и других крупных летательных аппаратах датчики подвергаются серьёзным перегрузкам (линейному ускорению). Особенностью МЭМС-гироскопов является наличие паразитной реакции на линейное ускорение. Исследования [1],[2] показывают, что при различных значениях линейного ускорения изменяется значение смещения нуля.

Большинство исследований [3],[4] учитывают влияние ускорения в пределах до 1g, что обусловлено изменением ориентации прибора и, вероятно, отсутствием более серьёзных перегрузок. Для наших целей в случае применения ГИБ на авиационно-космических объектах необходимо обеспечение гироскопами точностных характеристик в диапазоне 0...100g, поэтому были проведены эксперименты на изучение поведения смещения нуля в этом диапазоне.

При помощи вращательного стенда с большой планшайбой (центрифуги) можно регулировать не только задаваемую угловую скорость, но и ускорение, меняя расстояние от датчиков до центра вращения. Для эксперимента были подобраны такие значения угловой скорости и расстояния от центра, чтобы была возможность задавать ускорение от 0

до 100g. Были записаны показания датчиков при воздействии линейно возрастающей угловой скорости. Запись проводилась в положительном и отрицательном направлениях угловой скорости. Для устранения статистически значимой нестабильности масштабного коэффициента эксперимент был повторен 10 раз.

С целью исключения влияния других погрешностей ГИБ был предварительно откалиброван, устранены смещение нуля, применены масштабные коэффициенты для положительного и отрицательного направлений, вычисленные при тех же угловых скоростях и ускорениях, близких к нулю, также была компенсирована нелинейность масштабного коэффициента на измеряемом диапазоне.

Было выявлено наличие смещения между показаниями измерений датчиков в положительном и отрицательном направлении. Значение смещения меняется в зависимости от показания линейного ускорения. Это означает, что данная погрешность может быть скомпенсирована прибором в реальном времени при наличии в ГИБ датчиков линейных ускорений.

Для описания смещения, вызванного линейным ускорением, был предложен способ описания полиномами Лагранжа 1й степени. На диапазоне от 0 до 100g расставляются 10 точек, наиболее полно описывающих линию смещения.

Данный способ позволил снизить нестабильность масштабного коэффициента в условиях воздействия ускорения от 0...100g с 1.5% до 0.2%.

Список литературы

1. MEMS Vibratory Gyroscopes Structural Approaches to Improve Robustness. C. Acar, A. Shkel. Springer Science+Business Media, LLC, 2009, сmp. 18-23
2. Simultaneous detection of linear and coriolis accelerations on a mode-matched MEMS gyroscope. S. Sonmezoglu, H. D. Gavcar, K. Azgin, S. E. Alper, and

T. Akin. *Conference MEMS 2014, San Francisco, CA, USA, January 26 - 30, 2014, стр. 32-35.*

3. *High-Efficiency Low-Cost Accelerometer-Aided Gyroscope Calibration. Alberto Olivares, Gonzalo Olivares, J. M. Gorriz, J. Ramirez. Materials of 2009 International Conference on Test and Measurement, стр. 354-360.*

4. *Калибровка микроэлектромеханических датчиков ускорений и угловых скоростей в бесплатформенных инерциальных навигационных системах. В.В. Шаврин, А.С. Конаков, В.И. Тисленко. Доклады ТУСУРа, № 1 (25), часть 2, июнь 2012. стр. 265-269.*

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВИАЦИОННОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Analysis of the capabilities of the aviation integrated gravimetric correlation-extremal navigation system

А.А. Афонин, Г.Г. Ямашев, Н.А. Шаповалов, И.С. Антипят

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

*Н.А. Шаповалов – аспирант кафедры 305, научный руководитель к.т.н., доцент А.А., Афонин
И.С. Антипят – студент кафедры 305, научный руководитель к.т.н., доцент А.А. Афонин*

Приводятся результаты анализа возможностей алгоритмов навигационного комплекса самолета с использованием гравиметрической корреляционно-экстремальной навигационной системы для предварительной оценки точности получаемого им решения с помощью штатных средств комплекса в условиях недоступности спутниковых и др. неавтономных навигационных радиотехнических систем.

Для современных ЛА по-прежнему актуальна проблема получения высокоточных данных о параметрах ориентации и навигации. В настоящее время она, как правило, решается путем построения на борту пилотажно-навигационного комплекса (ПНК), включающего такие автономные подсистемы, как бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС), система воздушных сигналов (СВС), доплеровский измеритель скорости и угла сноса (ДИСС), радиовысотомер (РВ), астронавигационная система (АНС) и др., а также неавтономные подсистемы – спутниковые и др. навигационные радиотехнические системы.

При этом в рамках ПНК точность навигационных данных часто оказывается ограничена уровнем систематических погрешностей наилучшего измерителя – обычно спутниковой навигационной системы (СНС). В ряде случаев, например, в условиях воздействий естественного или искусственного происхождения, в частности, при постановке радиопомех или влиянии природных аномалий, а также в удаленных регионах, в том числе, в высоких широтах СНС и др. неавтономные системы теряют возможность выступать в качестве надежных и точных корректоров ПНК. В таких случаях погрешности комплекса в автономном режиме, например при полете самолета среднего класса, по горизонтальным координатам могут существенно возрастать, и как показывает практика, достигать неприемлемо больших величин от единиц до сотен км.

Итак, для преодоления существующих сложностей перспективным видится все более глубокое внедрение в ПНК корреляционно-экстремальных навигационных систем (КЭНС), например, наиболее помехозащищенных – гравиметрических. Один из перспективных путей интеграции КЭНС в ПНК самолета с типичным составом измерительных подсистем основан на построении гравиметрической комплексной навигационной системы (ГКНС) на базе трехкомпонентной БИНС, ДИСС, СВС и РВ. ГКНС будет одновременно являться источником навигационных и гравиметрических данных ограниченной точности (единицы мГал), а алгоритм КЭНС, например поискового типа, использующий карты гравитационных аномалий вдоль предполагаемого маршрута полета, должен быть реализован в вычислителе ПНК для уточнения параметров навигации объекта в горизонтальной плоскости [1]. Таким образом, в рамках предлагаемого подхода не потребуется отдельный сложный и дорогостоящий гравиметрический измеритель, а ГКНС интегрированная с КЭНС сможет вырабатывать уточненное решение задач ориентации, навигации и гравиметрии.

В рамках выполненных работ были предложены структура и состав системы ГКНС-КЭНС, разработаны ее основные алгоритмы и модели функционирования. Для оценки возможностей предложенного подхода производилось имитационное моделирование работы такой системы с описанным составом измерителей на борту самолета, летящего по маршруту на крейсерской скорости в высоких широтах. Данные эпизодически работающей АНС, а главное СНС и др. неавтономных радиотехнических навигационных систем не учитывались. Начальные условия моделирования выбирались исходя из условия постепенной потери точности СНС (десятки – сотни м) при входе в аномальную область. Рассматривались реальные и перспектив-

ные варианты высотометров и ДИСС (погрешности порядка первых десятков м и единиц м/с). Исследовались варианты аномального гравитационного поля с СКО от единиц до сотен мГал и радиусом корреляции от долей до единиц км, с разрешением карты порядка единиц мГал.

В результате моделирования подтверждена перспективность предложенного подхода, поскольку в большинстве случаев удавалось решать навигационную задачу с погрешностью порядка сотен м – первых единиц км, что хорошо согласуется с современными оценками [2]. Однако в ряде случаев: при излишне большом радиусе корреляции поля, его малом СКО, при грубых вариантах бортовых подсистем, больших начальных ошибках параметров

навигации ГКНС – использование КЭНС становится бессмысленным или даже вредным, понижающим точность интегрированного решения. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00279.

Список литературы

Красовский А.А. Теория корреляционно-экстремальных навигационных систем [Текст] / А.А. Красовский, И.Н. Белоглазов, Г.П. Чигин. – Москва: Наука, 1979
Джанджгава Г.И., Герасимов Г.И., Августов Л.И. Навигация и наведение по пространственным геофизическим полям // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. №3 (140). – С. 74-84

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НОВОЙ МОДИФИКАЦИИ ТРЕХКОМПОНЕНТНОГО ИНФОРМАЦИОННО-ИЗБЫТОЧНОГО МОДУЛЯЦИОННОГО ДАТЧИКА КАЖУЩЕГОСЯ УСКОРЕНИЯ

Analysis of the possibilities of a new modification of the three-component information-excess modulation apparent acceleration sensor

А.А. Афонин, А.С. Сулаков, Нгуен Хонг Куан

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Нгуен Хонг Куан – аспирант кафедры 305, научный руководитель к.т.н., доцент А.А. Афонин

Приводятся результаты анализа ожидаемых точностных характеристик новой модификации трехкомпонентного информационно-избыточного модуляционного датчика кажущегося ускорения совмещающего преимущества динамического и компенсационного способов измерения, что позволяет существенно снизить основные погрешности и повысить стабильность его работы.

В ряде современных отраслей промышленности и транспорта, в оборонной и научной сферах по-прежнему актуальна проблема получения высокоточных данных о параметрах ориентации и навигации подвижных объектов. В настоящее время она, как правило, решается посредством создания и применения разнообразных приборов, систем и комплексов, в составе которых важнейшее значение сохраняют датчики кажущегося ускорения (КУ).

На сегодняшний день достигнуты высокие результаты в разработке датчиков КУ, однако, всевозрастающие потребности науки, техники и экономики указывают на то, что в большинстве случаев существующие реализации их основных известных типов по-прежнему сохраняют целый ряд недостатков, к числу которых относятся их не всегда удовлетворительные массогабаритные характеристики, слабая помехозащищенность при работе на подвижном основании, дороговизна, иногда значительное время измерения и относительная узость амплитудного и частотного диапазонов, не всегда достаточная надежность и стабильность, ограниченная точность.

Таким образом, актуальной является проблема создания относительно недорогого трехкомпонентного малогабаритного датчика КУ повышенной точности, выполненного на базе сборки из трех традиционных маятниковых акселерометров (МА) небольшой точности, обладающего улучшенными по сравнению с ними точностными характеристиками и защищенностью по отношению к влиянию температурных, шумовых, вибрационных и др. возмущающих воздействий.

Для достижения этой цели в работе рассмотрена базовая схема реализации модуляционного датчика (МД) КУ повышенной точности на основе традиционного МА невысокой точности, выпускаемого промышленностью [1]. Предложена усовершенствованная схема трехкомпонентного информационно-избыточного модуляционного датчика (ТИМД), построенная на базе трех МД [2]. Создание ТИМД, построенного на базе трех МД, предназначенного для работы на подвижном основании, сравнительно малогабаритного, недорогого, помехозащищенного, с повышенным уровнем точности, с достаточно широким амплитудным и частотным диапазонами, с высоким быстродействием позволит использовать его для решения многих задач аэрокосмической и других отраслей, например, в качестве измерителя КУ в составе инерциального измерительного блока бесплатформенной инерциальной навигационной системы, в том числе, гравиметрической, работающей в составе комплекс-

ной корреляционно-экстремальной навигационной системы.

Для анализа возможностей усовершенствованной схемы ТИМД были составлены математические модели его работы, разработана программа его прямого имитационного моделирования. В результате выполненного имитационного моделирования работы ТИМД с номинальными значениями параметров [1,2] установлено, что на подвижном основании в условиях относительно медленно меняющихся проекций КУ удается идентифицировать температурные вариации датчиков на уровне 10^{-2} - 10^{-3} градуса, что в свою очередь позволяет снижать температурные погрешности измерения КУ на 2-3 порядка. При этом погрешность смещения (дрейфа) нуля, доминирующая в компенсационном режиме измерения, также может быть идентифицирована и ее влияние может быть уменьшено до незначительного уровня смещения нуля-пункта в динамическом режиме измерения, определяемого в

первую очередь высокой степенью стабильности собственной жесткости подвеса кремниевого или кварцевого маятника МА, что в итоге позволяет надеяться на реализацию на базе ТИМД датчика КУ с хорошими точностными характеристиками. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00279.

Список литературы

Афонин А.А., Кузнецов А.С. Анализ модифицированного алгоритма работы модуляционного динамического гравиметра в условиях переменных ускорений основания // Авиакосмическое приборостроение, 2007, № 6

Афонин А.А., Черноморский А.И. Об одном подходе к компенсации погрешностей трехкомпонентного модуляционного динамического гравиметра // Авиакосмическое приборостроение, 2004, № 11

АНАЛИЗ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА С ПОМОЩЬЮ ПРОЦЕДУРНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МЕТРИК

Analysis of on-board software based on quality assessment using procedural-oriented metrics

А.И. Зелинская, И.В. Саурский

ФГУП «Московское опытно-конструкторское бюро «Марс»

В докладе ставится задача оценки качества бортового программного обеспечения. Оценка структурной сложности программного обеспечения проводится с помощью процедурно-ориентированных метрик.

Непрерывное повышение сложности функций, реализуемых программами, непосредственно приводит к увеличению их объема и трудоемкости создания. Вследствие чего возрастает вероятность появления ошибок, что отражается на качестве программного обеспечения (ПО). Поэтому вопрос обеспечения качества бортового программного обеспечения (БПО) является очень важной задачей.

Для обеспечения качества БПО целесообразно применять меры упрощения ПО на этапе проектирования. Одним из применяемых методов упрощения ПО является метод декомпозиции [3].

Метод декомпозиции или «модуляризация» — это разбиение программы на части — модули. Программный модуль представляет собой фрагмент программы, который полностью самостоятельно выполняет свою задачу, оформленный в виде отдельного файла с исходным кодом, который можно вызвать из любого другого модуля и можно отдельно компилировать.

Существует множество подходов к оценке качества ПО. Многие выбирают метод оценки, основываясь на функциональных свойствах ПО, его скоростных

характеристиках, расходуемости ресурса и других характеристиках.

В данной работе предлагается подход оценки качества ПО с помощью процедурно-ориентированных метрик, основанный на собственных характеристиках программных модулей БПО бортового комплекса управления (БКУ) космического аппарата (КА).

Одним из вариантов косвенной оценки качества БПО является использование метрик связности и сцепления модулей [2]. Для обеспечения необходимого уровня надежности программы разработка БПО должна удовлетворять требованиям максимальной связности и минимального сцепления модулей.

Размещение связанных объектов в одном модуле позволяет уменьшить межмодульные связи и их влияние друг на друга. Для оценки связности можно использовать шкалу силы связности в интервале значений от 0 до 10, в которой 0 — наихудший вариант связности, а 10 — наилучший вариант связности. Каждому типу связности сопоставляется значение силы связности. Тип связности определяется при помощи анализа параметров, определяющих взаимодействие программного модуля с остальной частью ПО. Если не удастся определить тип связности программного модуля или модулю одновременно соответствует несколько типов связ-

ности, то ему присваивают тип с наименьшей связностью.

Сцепление позволяет оценить, насколько хорошо программные модули отделены друг от друга. Для повышения качества БПО сцепление желательно уменьшать. Для оценки сцепления модулей можно использовать шкалу степени сцепления в интервале значений от 0 (наилучший вариант) до 9 (наихудший вариант). Каждому типу сцепления сопоставляется степень сцепления модулей. Слабое сцепление модулей обеспечивает минимальное влияние одного программного модуля на другой — изменения в одном модуле не повлекут за собой изменения в другом модуле.

В докладе представлены результаты анализа оценки качества ПО на примере БПО БКУ КА. Исходя из них видно, что на этапах проектирования, реализа-

ции и тестирования [1] рассматриваемое ПО обеспечивает необходимый уровень качества и удовлетворяет поставленным требованиям – программные модули имеют максимальную связность и минимальное сцепление модулей. Показатели типа связности модулей варьируются от 8 до 10, а показатели типа сцепления модулей – от 0 до 4.

Список литературы

1. ГОСТ 28195-89 Оценка качества программных средств. Общие положения – Введ. 01.07.90 – Москва
2. Черников Б. В. «Управление качеством программного обеспечения» – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2012. – 240 с.
3. Г. Майерс «Надежность программного обеспечения». М.: «Мир», 1980. – 360 с.

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕХОДНОГО СЛОЯ В КОНСТРУКТИВЕ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ИХ ДИНАМИЧЕСКИЕ И ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

The Effect of the Matching Layer in the Design of Electroacoustic Transducers on their Dynamic and Frequency Characteristics

С.И. Герасимов, В.Д. Глушнев, И.Н. Желбаков, М.М. Панов

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

С.И. Герасимов – соискатель каф. информационно-измерительной техники, науч. рук. проф. И.Н. Желбаков; М.М. Панов – аспирант каф. информационно-измерительной техники, науч. рук. доц. В.Д. Глушнев

Представленный доклад является логическим продолжением группы публикаций, где были рассмотрены основные моменты, отражающие взаимосвязь динамических характеристик датчиков и электроакустического тракта устройств, работающих с сигналами ультразвука на примере ультразвукового расходомера жидкости с датчиками врезного типа.

Электроакустический тракт (ЭАТР) ультразвуковых расходомеров (УЗР) включает в себя датчики – электроакустические преобразователи (ПЭА) [1]. В их состав помимо активного элемента – пьезоэлемента (ПЭ), излучающего колебания ультразвуковых волн (УЗВ), входит переходной слой – «мембрана» (МБ).

Мембрана является частотно зависимой. Соответственно, от частоты (ЧТ) также зависит и коэффициент демпфирования. Рассмотрим МБ в первом приближении на примере полуволнового вибратора [2]. Стоит отметить, что он имеет довольно сложную фазовую зависимость [3]. Если МБ представляется в виде простейшего колебательного контура – LC-цепи, то, конечно, это не будет полностью эквивалентно реальному прототипу электрической схемы замещения (ЭСЗ) по своему действию. Имеется предположение, что длинная линия будет описывать МБ более полным образом. Первый вариант допустим при абсолютно полной связи ПЭ. В дей-

ствительности указанная связь не будет полной – разделение ПЭ и МБ будет значительным. Также стоит отметить, что МБ корректно работает только вблизи резонансной частоты (РЧ), а при значимых отклонениях от нее многие характеристики, в т.ч. фазовые, изменяются.

Если рассмотреть работу ПЭ без МБ только в среду излучения – жидкость (например, чистая вода), то электрическое сопротивление (СП), характеризующее нагрузку, включает в себя не только эквивалентное СП самой среды излучения, но и СП жидкости. Фактически, ПЭ демпфируется непосредственно демпфером с одной стороны и средой излучения с другой стороны ПЭ. При работе с МБ условия перехода акустических волн от ПЭ к жидкости в целом улучшаются. Однако, для первой полуволны регистрируемого сигнала от приемного ПЭА это практически не влияет, а возможно и вовсе некоторое ухудшение. В случае протяженной УЗВ, получается хорошее согласование ПЭ со средой. На практике при излучении в реальную среду МБ выполняет функцию просветляющего слоя. В силу многократных отражений УЗВ на границах акустических сред, в т.ч. отражений по фазе, амплитуда (АП) сигнала, колебательная скорость непрерывно увеличивается так, что при достиже-

нии 3-4-5 полуволны АП колебаний будет равна АП колебаний ПЭ.

Физический смысл резонирующих и согласующих слоев состоит в том, что когда первая полуволна достигает среды излучения, то она не полностью передает свою энергию в жидкость (или в то вещество, из которого состоит материал среды излучения), а частично отражается обратно. Дойдя до ПЭ, она оказывается в фазе с основной (головной) волной, излучаемой ПЭА, далее отражается от излучающей поверхности ПЭ в фазе с основной волной [3, 4]. Таким образом, отраженные определенное количество раз волны будут накладываться на основную волну с одинаковой фазой. Тогда для полуволнового вибратора коэффициент прохождения через слой в действительности будет близок к единице [3, 4]. Другими словами, амплитуда колебаний в жидкости по скорости и по давлению будет равна скорости колебаний свободного ПЭ [2]. Происходит практически полная передача энергии излучения от ПЭ в МБ и далее в конечную среду.

Ранее при составлении эквивалентных ЭСЗ ЭАТР для УЗР, предполагалось, что на асимметрию (АС) [5] влияет, по большей части, только изменение добротности ПЭ, и что существует четкое различие

на излучение и на прием. Принималось, что РЧ одинаковая и на прием и передачу, соответственно получались малые значения АС. Однако, с учетом обозначенных моментов, это становится не однозначным. Так, влияние электрической нагрузки оказывается более сильным, поскольку было обнаружено, что РЧ зависит и от того, в каком режиме работает ПЭ. Указанные выводы были подтверждены в процессе экспериментальных исследований АС ЭАТР с использованием тестовых ПЭА с нормированным отклонением собственных РЧ.

Список литературы

1. Кремлевский П.П. *Расходомеры и счетчики количества веществ: справ. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1989. – 701 с.*
2. Лепендин Л.Ф. *Акустика: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1978. – 448 с.*
3. Бреховских Л.М. *Волны в слоистых средах. – М.: Наука, 1973. – 343 с.*
4. Исакович М.А. *Общая акустика: уч. пособ. – М.: Наука, глав. ред. физ.-мат. лит., 1973. – 496 с.*
5. Глушнев В.Д., Панов М.М. *Тенденции совершенствования современных ультразвуковых расходомеров // Вестник МЭИ. 2018. № 3. с. 94-100.*

АПРОБАЦИЯ ТЕРМИНАЛЬНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Approbation of terminal diagnosis of electrical circuits

М.Р. Гусманова

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Данная работа посвящена терминальному диагностированию электрических цепей. Рассчитывается терминальное управление, переводящее электрическую цепь из исходного заданного состояния в заданное конечное состояние. На основе полученного управляющего воздействия выбирается диагностический признак - ошибка попадания в терминальную точку. В качестве наглядного средства для поиска и локализации дефектов предлагается построение годографа дефектов.

Рассмотрим метод терминального диагностирования, основанный на расчете терминального управления для исследуемого объекта. Задача перевода линейной динамической системы из заданного ис-

ходного состояния $X(0)$ в заданное конечное состояние $X(T)$ за фиксированное время T является одной из классических задач теории управления. Она известна как задача терминального управления с фиксированным временем.

В качестве объекта исследования рассмотрим пассивную RC-цепь второго порядка с нагрузкой. Используя в качестве переменных состояния x_1, x_2 напряжение на конденсаторах, найдем систему дифференциальных уравнений, описывающую данную систему:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -\frac{x_1}{C_1} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) + \frac{x_2}{C_1 R_2} + \frac{u_2}{C_1 R_1} \\ \dot{x}_2 = \frac{x_1}{C_2 R_2} + \frac{x_2}{C_2} \left(-\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3} \right) \end{cases} \quad (1)$$

Рассчитаем терминальное управление для перевода заданной системы, описанной системой дифференциальных уравнений (1), при $R_1 = R_2 = R_3 = 1 \text{ Мом}$, $C_1 = C_2 = 1 \text{ мкФ}$.

Управление будем искать в классе линейных функций, общий вид такого управления:

$$u(t) = at + b.$$

Система дифференциальных уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -2x_1 + x_2 + at + b \\ \dot{x}_2 = x_1 - 2x_2 \end{cases} \quad (2)$$

Время T , за которое необходимо осуществить перевод объекта из начального состояния $X(0)$ в конечное состояние $X(T)$, принимаем равным двум:

$$X(0) = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, X(T) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, T=2.$$

Решив систему дифференциальных уравнений (2) относительно неизвестных параметров a, b получаем управляющее воздействие следующего вида:

$$u(t) = 0.872t + 1.459$$

При отсутствии дефектов, рассчитанное управление переводит систему в нулевое состояние. Ошибку попадания в терминальную (конечную) точку можно использовать в качестве диагностического признака. Одним из наглядных средств, который можно использовать для поиска локализации дефектов является годограф дефектов, построенный в плоскости выбранных диагностических признаков, в данном случае параметров схемы. Годограф дефектов представляет собой совокупность кривых, пересекающихся в номинальной точке – точке, соответствующей номинальным значениям диагностируемого объекта [4]. При отсутствии дефектов

изображающая точка совпадёт с точкой пересечения всех кривых – номинальной точкой, при появлении дефекта она смещается вдоль одной из кривых, соответствующей одному из параметров схемы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 17-08-00244.

Список литературы

1. Мироновский, Л. А. *Функциональное диагностирование динамических систем: Научное издание / Л.А. Мироновский. СПб.: Издательство МГУ-ГРИФ, Москва-Санкт-Петербург, 1998. 257 с.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРВАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ ДЛЯ МОДЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА

Research of the interval criteria for the model of the measuring circuit of the third form

Е.А. Еlicheva, А.А. Лупачев

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Е.А. Еlicheva – студентка каф. информационно-измерительной техники,
научный руководитель доцент А.А. Лупачев

В данной статье рассматриваются критерий интервального вида окончания переходного процесса в измерительной цепи в режиме on-line, в качестве модели служит динамическое звено 3 порядка.

В действующих отечественных и зарубежных стандартах, а также методических указаниях по измерению динамически изменяющихся физических величин применяются различные критерии окончания переходного процесса (ПП), для которых не установлена связь между параметрами переходного процесса и требуемой динамической погрешностью измерения установившегося значения [1]. Известны исследования, по простейшему динамическому звену, которые показали наличие ограничения на его применение в виде критической постоянной критерия (КПК) [2]. Анализ использования критерия интервального вида (КИВ) для измерительной

цепи в виде двух последовательно соединённых апериодических звеньев проведён в работе [3].

Данное исследование выполнено с целью оценки применимости КИВ определения момента завершения ПП в измерительной цепи (ИЦ) с моделью динамического звена третьего порядка в on-line режиме испытания сложного объекта. Подобные модели ИЦ образуются при использовании современных первичных измерительных преобразователей [4].

Для описания модели измерительной цепи используется модель с переходной характеристикой, представленной в терминах диаграммы Вышнеградского (ДВ) [5]. На классической плоскости параметров «А» и «В» ДВ обычно выделяется две кривые: «СЕ» и «CF». Внутри III области «ECF» апериодических переходных процессов содержится точка наибольшей степени устойчивости «С» с ко-

ординатами $A=3$ и $B=3$. Эта точка связана с быстрой затухания переходного процесса в ИЦ [6]. Результаты моделирования для III области ДВ показали, что функциональная зависимость КПК представлена в виде сложной поверхности. Предельная абсолютная погрешность моделирования составляет $\pm 1,0$ с. Поведение этой поверхности можно охарактеризовать секущей плоскостью первого квадранта диаграммы, проходящей через начало координат с точку «С», т.е. для $A = B$. Было смоделировано восемь точек из набора параметров ДВ с шагом: $\Delta A = \Delta B = 1$. Для биссектрисы, которая выходит из точки «С» диаграммы при A и $B > 20$ значение критической постоянной критерия стабилизируется и устанавливается на уровне, характерном для модели первого порядка. Уравнение тренда, которое аппроксимирует результаты моделирования, позволяет найти эмпирическую зависимость КПК от параметров модели и критерия. На основе информации о поведении критической постоянной интервального критерия для ИЦ со структурной неопределенностью в виде динамических звеньев от первого до третьего порядков можно построить надежные алгоритмы, реализующие ИК без ограничения на параметры и порядок моделей. Это положение является предметом дальнейшего исследования.

Список литературы

Бехтин Ю.С., Лупачев А.А., Логинов В.А., Еlicheva Е.А., Пецинярж А.Р. Интервальный критерий окончания переходного процесса в измерительной цепи при испытаниях. // 7-я Международная научно-техническая конференция «СУДОМЕТРИКА – 2018», 15-17 октября 2018 г. Санкт-Петербург. – С. 44– 47.

Лупачев А.А., Сапелкин И.В., Смагин А.В., Бехтин Ю.С. Исследование интервального критерия окончания переходного процесса в измерительной цепи. // Сборник докладов. 26-th National Scientific Symposium with international participation “METROLOGY and METROLOGY ASSURANCE 2016”, September 7-11, 2016. Sozopol, Bulgaria. – С.97–103.

Сапелкин И.В., Ходырева В.С., Лупачев А.А., Макарычев П.П. Влияние модели измерительной цепи на применение интервального критерия установившегося значения. // 26-th National Scientific Symposium with international participation “METROLOGY and METROLOGY ASSURANCE 2016” September 7-11, 2016. Sozopol, Bulgaria. - С. 122 - 126.

Датчики: Справочное пособие. / Под общ.ред. В.М. Шаранова, Е.С. Полищука. М.: Техносфера, 2012. – 624 с.

Щепетов А.Г. Основы проектирования приборов и систем: учебник и практикум для академического бакалавриата. / М.: Изд-во Юрайт, 2016. – 458 с.

Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория системы автоматического регулирования. / М.: Наука, 1975. – 768 с.

ПЕРЕХОДНОЙ СЛОЙ В КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЖИДКОСТНОГО РАСХОДОМЕРА КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ИЗЛУЧАЕМОЙ ЭНЕРГИИ В ИССЛЕДУЕМУЮ СРЕДУ

Matching Layer in the Construction of the Electro-acoustic Transducer of the Ultrasonic Liquid Flowmeter as a Method of Increasing Transmitted Ultrasonic Energy into the Analyzed Medium

С.И. Герасимов, В.Д. Глушнев, И.Н. Желбаков, М.М. Панов

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

С.И. Герасимов – соискатель каф. информационно-измерительной техники,

науч. рук. проф. И.Н. Желбаков

М.М. Панов – аспирант каф. информационно-измерительной техники,

науч. рук. доцент В.Д. Глушнев

Приводятся особенности реализации акустических датчиков во врезном исполнении, конструктивно имеющие в своем составе переходной слой – т.н. «мембрана», описываются базовые моменты составления электрических эквивалентных схем замещения датчиков, их представления как математической модели, адекватной реальному поведению.

Электроакустические (ПЭА) и, в частности, пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП) [1-3], используемые в эхолокационных контрольно-

измерительных приборах [4, 5], дополнительно снабжают демпферами и специальными «просветляющими» мембранами (МБ) [1, 3]. МБ входит в состав всего датчика – ПЭА, и по факту является переходным или согласующим слоем, прилегающим непосредственно к пьезоэлементу (ПЭ) и исследуемой среде излучения. Данный слой выполняет как защитную функцию ПЭ от внешнего воздействия и контакта среды излучения, так и фактически обеспечивает улучшение согласования акусти-

ческих свойств материала ПЭ и среды излучения [6]. Это необходимо для уменьшения потерь и паразитных отражений при передаче сигнала из ПЭ в среду излучения.

Как правило, переходной слой изготавливается из сравнительно твердого, но тонкого материала, толщина которого составляет четверть или половину волны излучения колебаний для обеспечения лучшего согласования [1, 3, 6]. Полуволновые и четверть волновые МБ позволяют повысить коэффициент передачи ПЭА, а демпферы – уменьшить добротность, и за счет этого повысить временную разрешающую способность приборов. ПЭ и МБ в этом случае представляют два связанных колебательных контура, которые содержат реактивные элементы. Параметры этих элементов линейны, и практически не оказывают влияния на т.н. «асимметрию» электроакустического тракта (ЭАТР) ультразвукового расходомера [7], поэтому схемы замещения ЭАТР с МБ составляются аналогичным образом.

При анализе работы ПЭА без МБ, когда в составе имеется только один ПЭ, рассматриваемая система в модели ПЭ представлена как колебательное звено с одной степенью свободы, поэтому она описывается дифференциальным уравнением второго порядка [1, 3]. По сути, это обычная колебательная система, звено. Если добавляется МБ, тогда движение пьезопластины и МБ можно рассматривать как движение двух связанных колебательных систем, например, как движение двух маятников, соединенные друг с другом пружиной [1, 3, 6]. При этом колебаться между собой они будут иначе, чем каждый из них по-отдельности. Так, потенциальная энергия каждого маятника будет зависеть не только от высоты подъема условного груза маятника (координаты) одного из маятников, но и от степени сжатия пружины связи, т.е. от положения другого маятника. Состояние всей колебательной системы будет определяться двумя координатами, поэтому

принято считать, что эта система с двумя степенями свободы. Для анализа работы таких систем применяется метод электромеханической аналогии [1, 3]. Переходной процесс (при отсутствии затуханий – свободные незатухающие колебания) будет представлять сумму двух гармонических колебаний с разными частотами, при этом в процессе колебаний будут присутствовать биения. При наличии затуханий все аналогично, только колебания будут постепенно уменьшаться по амплитуде (это зависит от коэффициента затухания). Также можно отметить, что МБ хорошо выполняет свою функцию только вблизи резонансной частоты.

Список литературы

1. Домаркас В.И., Кажис Р.-И.Ю. Контрольно-измерительные пьезоэлектрические преобразователи. – Вильнюс: Издательство «Минтис», 1975. – 258 с.
2. Ультразвуковые преобразователи для неразрушающего контроля / Под ред. И.Н. Ермолова. М.: Машиностроение, 1986, 280 с.
3. Домаркас В.И., Пилецкас Э.Л. Ультразвуковая эхоскопия. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988. – 276 с., ил.
4. Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. Неразрушающий контроль: Справочник в 7 т. Под общей ред. В.В. Клюева. Т. 3: Ультразвуковой контроль. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с.
5. Ермолов И.Н., Алешин Н.П., Потапов А.И. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2 Акустические методы контроля: Практическое пособие / Под ред. В.В. Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1991. – 283 с.
6. Лепендин Л.Ф. Акустика: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1978. – 448 с.
7. Глушнев В.Д. Разработка средств ультразвукового бесконтактного контроля расхода жидкости в трубопроводах большого диаметра [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Глушнев Владимир Дмитриевич. – М., 1985.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ДАННЫХ В УДАЛЕННЫХ СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

Research of data integrity control methods in remote data storage systems

В.С. Марковский

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В.С. Марковский – студент кафедры безопасности информационных систем,
научный руководитель старший преподаватель А.В. Афанасьева

В данном докладе проведен сравнительный анализ протоколов доказательства обладания данными по сложности вычисления для клиента и для сервера, по объему передаваемых данных.

В настоящее время одним из перспективных способов хранения данных является их перенос в уда-

лённые (облачные) системы хранения. Это позволяет организациям уменьшить накладные расходы на содержание и поддержку собственных локальных хранилищ. При этом одной из самых серьезных проблем облачных систем хранения является их защита от нарушения целостности хранимых

данных. Целостность данных может быть нарушена как случайно (например, в случае сбоев аппаратных средств), так и преднамеренно злоумышленником. Для организаций (или частных лиц), разместивших свои данные в удаленных хранилищах, крайне важно иметь доказательства того, что при хранении, их данные остаются неизменными.

Протокол доказательства обладания данными (PDP, proof of data possession) — это протокол, позволяющий клиенту проверить целостность данных файла, хранящегося на удаленном сервере облака. Клиент и сервер обмениваются сообщениями по модели запрос – ответ. Протокол PDP состоит из четырех процедур: предобработка, запрос, подтверждение, проверка.

PDP протоколы делятся на статические и динамические. Статические протоколы не поддерживают операции изменения блоков, и, при необходимости внесения изменений в данные, клиенту необходимо получить от сервера полный набор данных, внести в них изменения, а затем заново запустить процедуру предобработки. Динамические протоколы в зависимости от схемы могут поддерживать некоторые операции динамического внесения изменений. Рассмотрим три протокола, относящиеся к разным видам, реализующие различные подходы к контролю целостности данных. S-PDP – статический протокол, основанный на гомоморфных проверяемых метках и алгоритме RSA [1]. При передаче по каналу связи доказательства, генерируемого сервером, передаются два числа не превышающих N , где N – модуль RSA.

Scalable PDP – динамический протокол, основанный на хеш-функциях и симметричном шифровании [2]. Основной идеей данного протокола является хранение в качестве метаданных заранее рассчитанных ответов сервера на запросы. При передаче доказательства, сгенерированного сервером, в ка-

нале передаётся значение хеш-функции, следовательно передаваемое значение не зависит от количества блоков файла.

DPDP – динамический протокол, основанный на структуре данных список с пропусками [3]. Исходные блоки находятся на нулевом уровне. Каждый узел содержит ранг – количество блоков данных, которые могут быть доступны из текущего узла, и значение хеш-функции. Для генерации доказательства целостности блока i необходимо построить путь до начального узла. Следовательно, при передаче доказательства, объём данных зависит от числа блоков исходного файла.

В докладе приводится таблица сравнения рассмотренных протоколов по сложности вычислений, объёму передаваемых данных и поддерживаемым операциям.

Список литературы

1. G. Ateniese, R. Burns, R. Curtmola, J. Herring, L. Kissner, Z. Peterson, and D. Song. Provable data possession at untrusted stores. // *CCS '07: Proceedings of the 14th ACM Conference on Computer and Communications Security*, New York, NY, USA, 2007, pp. 598–609.
2. G. Ateniese, R. Di Pietro, L. V. Mancini, and G. Tsudik. Scalable and efficient provable data possession. // *Secure Comm '08: Proceedings of the 4th International Conference on Security and Privacy in Communication Networks*, New York, NY, USA, 2008, pp. 1–10.
3. G. Ateniese, R. Di Pietro, L. V. Mancini, and G. Tsudik. Scalable and efficient provable data possession. *Secure Comm '08: Proceedings of the 4th International Conference on Security and Privacy in Communication Networks*, New York, NY, USA, 2008, pp. 1–10.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МЭМС-КНИМТ ТЕНЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ В ЖЁСТКИХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

MEMS-SOI pressure sensors design optimization for aviation and space rocket technology harsh environments

Л.В. Соколов

Жуковский филиал АО «РПКБ», 140185 Московская область, г. Жуковский, ул. Туполева, 18

С целью сравнения с известными результатами моделирования исследованы распределения упругих деформаций в локальных областях микромеханической структуры на образцах чипов МЭМС-КНИМТ тензопреобразователей. Исследования проводились методом Рамановской спектроскопии с помощью дисперсионного микроскопа комбинационного рассеяния SENTERA Bruker Optics. Экспериментально подтверждены выводы /2/ о расположении максимумов упругих деформаций в локальных областях мик-

ромеханической структуры тензопреобразователя – концентраторах механических напряжений.

Надёжность различных электронных систем (управляющих, информационно-измерительных и других) авиационной и ракетно-космической техники, особенно в жёстких условиях эксплуатации, во многом определяется надёжностью работы и

стабильностью метрологических параметров датчиков.

Для обеспечения требований ТЗ по взаимозависимым метрологическим параметрам датчиков давления – нелинейности преобразовательной характеристики, тензочувствительности и их временной стабильности – важно ещё на ранних этапах проектирования оптимизировать конструкцию чувствительного элемента давления, в частном случае, тензопреобразователя давления с гетероструктурой микроэлектромеханической системы МЭМС-КНИМТ – кремниевая изолированная монолитная тензорамка на кремниевой мембране /1/.

Известны результаты моделирования упруго деформируемого твердого тела для определения оптимальной по тензочувствительности конструкции МЭМС-КНИМТ тензопреобразователя методом конечных элементов. С целью сравнения с известными результатами моделирования упругих напряжений /2/ были исследованы распределения упругих деформаций в локальных областях гетероструктуры тензорамка – тонкий слой стекловидного диэлектрика – мембрана на образцах чипов МЭМС-КНИМТ тензопреобразователей. Исследования проводились методом Рамановской спектроскопии /3/ с помощью дисперсионного микроскопа

комбинационного рассеяния SENTERA Bruker Optics.

На основе полученных распределений упругих деформаций экспериментально подтверждены выводы /2/ о расположении максимумов упругих деформаций в локальных областях микромеханической структуры тензопреобразователя – концентратора механических напряжений.

Список литературы

1. Л.В. Соколов, М.Ю. Сорокин. Отечественные инновационные разработки датчиков давления в задачах измерения высоты // Научно-технический сборник. Оборонная техника. №11-12, 2015, с.87-92.
2. Соколов Л.В. Оптимизация конструктивных параметров микроэлектромеханических преобразователей давления для электронных систем регулирования и диагностики авиационных двигателей. Труды XXV Международной научно-технической конференции «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации» Алушта-2016, 12-20 сентября 2016г., с.92.
3. Woo Sik Yoo at al. Multiwavelength Raman characterization of silicon stress near through- silicon vias // J.Micro/Nanolith. MEMS MOEMS. 2014. 13(1). 011205. 23pp.

ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Stabilization and motion control software solution for autonomous unmanned underwater vehicle

А.В. Савкин

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

А.В. Савкин – инженер кафедры 305 «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации», научный руководитель доцент каф.305 к.т.н Д.А. Антонов

Представлены результаты разработки программно-алгоритмического обеспечения систем стабилизации и управления движением автономного необитаемого подводного аппарата среднего класса. Описаны методы и подходы, применяемые при исследовании математической модели аппарата, синтезе и тестировании программ и алгоритмов. Приведены результаты математического моделирования, полунатурных и натурных испытаний.

В ходе выполнения опытно-конструкторских работ по созданию автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) среднего класса возникает задача синтеза алгоритмов автоматического управления. Сложность в данную задачу вносят разнообразие управляющих поверхностей и движительных установок, различия массогабаритных характеристик аппаратов [1].

Для обеспечения контура управления информацией об объекте на аппарате установлено следующее навигационное оборудование: датчик давления, впередсмотрящий эхолот; бесплатформенная инерциальная навигационная система; двухантенный спутниковый приемник. Совместная обработка измерений производится с применением алгоритмов комплексной обработки информации [2].

Контур управления условно делится на два блока: блок стабилизации и блок формирования траекторных параметров. Регуляторы блока стабилизации обеспечивают соответствие рассчитанных параметров положения объекта требованиям, заданным блоком формирования траекторных параметров.

Для расчета параметров регуляторов блока стабилизации была разработана математическая модель

аппарата, учитывающая силы и моменты, возникающие в следствие тяговых, гидродинамических, управляющих и других воздействий, влияющих на аппарат [3]. Идентификация коэффициентов модели на начальном этапе производилась при помощи компьютерного моделирования в среде SolidWorks и аналитическими методами [4]. Гидродинамические коэффициенты модели получены в виде зависимостей от углов атаки и скольжения, а также, от угловых скоростей аппарата, и использованы для расчета параметров регуляторов блока стабилизации методами оптимизации.

Алгоритмы управления были реализованы и протестированы в среде Matlab/Simulink и конвертированы в программный код на языке Си, исполняемый на БЦВМ аппарата. Такой подход позволяет быстро вносить крупные изменения в проект и передавать программисту готовый код, не требующий серьезных правок.

В ходе полунатурных испытаний в бассейне акустического института имени академика Н. Н. Андреева были проведены опыты, направленные на уточнение параметров модели динамики АНПА. Кроме того, было проведено исследование влияния математических ожиданий, СКО и частотных характеристик шумов измерений на качество управления. Такие уточнения позволили оптимизировать систему автоматического управления, подготовить ее к натурным испытаниям, подобрать оптимальные режимы управления и снизить риски отказов. В ходе натурных испытаний на реке Волге (г. Дубна) была протестирована работа системы автоматического управления и подтверждено соответствие ее свойств требованиям технического задания.

Таким образом, в ходе опытно-конструкторских работ было разработано программно-алгоритмическое обеспечение системы управления и стабилизации АНПА. Математическое моделирование, полунатурные и натурные испытания позволили уточнить и протестировать алгоритмы управления, подтвердить их соответствие требованиям технического задания.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ 19-08-01223-а.

Список литературы

- Амирагов А.С., Антонов Д.А., Колганов Л.А., Чехов Е.Л., Шавырин И.А. «Повышение эффективности подводных работ, приводимых с помощью автономных необитаемых подводных аппаратов с интегрированными навигационными комплексами» Москва, Новости навигации, 2018г.*
- Савкин А.В, Колганов Е.Л., Чехов Е.Л. Синтез программно-алгоритмического обеспечения навигации и управления движением автономного необитаемого аппарата. // Сборник докладов 21 конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». Санкт-Петербург, 2019г.*
- Лукомский Ю.А., Чугунов В.С. Системы управления морскими подвижными объектами. Л.: Судостроение, 1988. С. 43-83.*
- Груммондз В.Т., Половинкин В.В., Яковлев Г.А. Теория движения двусредных аппаратов: математические модели и методы исследования. М.: Вузовская книга, 2012. С. 31-38.*

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СЛОЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОЭФФИЦИЕНТА СТРУКТУРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

The study of the structure of complex information systems on the basis of the coefficient of structural uncertainty

А.В. Яковлев

Тамбовский государственный технический университет

В данной работе рассматривается подход к анализу топологической структуры системы на основе коэффициента структурной неопределенности. Выделены вероятные особенности использования данного подхода.

Развитие и усложнение структуры различных систем управления, связи и обработки информации происходит в нелинейно возрастающем темпе [1]. Для таких систем характерно наличие большого количества элементов и выполняемых ими функций, связей и взаимодействий между ними, сложность алгоритмов выбора управляющих воздействий и большой объем перерабатываемой инфор-

мации. Вместе с тем, существенными характеристиками таких систем является: тип и сложность структуры, образованной этими элементами – иерархическая, регулярная, многослойная и т.п. (иногда достаточно часто слабые взаимодействия повышают сложность системы); динамика системы, сложность ее поведения, прогнозируемость; наличие закономерностей [2]: взаимодействия частей и целого (целостность, интегративность); иерархической упорядоченности систем (коммуникативность, иерархичность); функционирования и развития систем (историчность, самоорганизация); осуществимости систем (эквивинальность, закон

необходимого разнообразия, потенциальная эффективность); слабоструктурированность и неструктурированность.

Так в работах [2,3] проводится анализ влияния различных факторов на формирование или выбор структуры сложной технической системы, которые делят на две группы:

связанные с иерархичностью систем: количество уровней иерархии, характер взаимосвязей, степень централизации, признаки разбиения системы на подсистемы;

$$U = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_L\} \cap \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_M\} \cap \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_N\}, \quad (1)$$

где: $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_L\}$ – подмножество транзитных узлов; $\{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_M\}$ – подмножество оконечных (входящих) узлов (потребителей информации); $\{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_N\}$ – подмножество корневых исходящих узлов (источников информации). При этом необходимо учитывать, что исходящих узлов не может быть менее 1 (необходимо поступления информации) и ветвление транзитных узлов (расширяемость графа системы) должно быть не менее 2.

Основной особенностью разработанного подхода к исследованию структуры сложных информационных систем является определение параметра, отражающего различия между множеством элементов

$$\Psi = 1 - \frac{\sum_{i=1}^L w_{\alpha_i} * \alpha_i}{\left(\sum_{i=1}^L w_{\alpha_i} * \alpha_i + \sum_{j=1}^M w_{\beta_j} * \beta_j + \sum_{k=1}^N \gamma_k\right)} \quad (2)$$

где: L – количество транзитных узлов; M – количество оконечных узлов (потребителей информации); N – количество корневых узлов (источников информации); w_{α_i} – коэффициент достижимости (вес i – транзитного узла):

$$w_{\alpha_i} = \frac{\sum_{i=1}^r p^{\alpha_i}}{(L+M)},$$

где: p – количество потомков i – транзитного узла, r – количество связей i – транзитного узла до всех своих потомков;

$w_{\beta_j} = \frac{1}{(N+M)}$ – коэффициент оконечного узла.

Необходимо отметить, что коэффициент структурной неопределенности у сложных информационных систем с уникальной структурой, имеет различное значение в силу разного количества вышеуказанных типов узлов и не отражает собственно структурные особенности системы, такие как количество узлов в слое, распределение узлов слоя z_s по отношению к слоям z_{s-1} и z_{s+1} . Принимая во внимание тот факт, что задачей исследования СИС, как правило, является исследование структурной составляющей живучести, т.е. выявление уязвимых мест в топологии системы и определению степени их влияния на целостность системы введем дополнительный показатель, характеризующий вместе с (1) живучесть СИС исходя из предположения, что степень равномерности распределения узлов нижнего слоя (z_{s+1}) по отношению к узлам верхнего слоя (z_s) напрямую влияет на вероятность разрушения узлов (поддеревьев) слоя z_{s+1} [4].

связанные с эффективностью функционирования: эффективность, надежность, живучесть, быстродействие, адаптивность.

В процессе оценивания топологической сложности иерархической структуры очевидно нужно учитывать соотношение терминальных (начальных, оконечных) узлов и транзитных. Введем понятие транзитного узла в рамках решения рассматриваемой задачи. С учетом имеющихся ограничений, используя нетрадиционный подход к исследованию структуры сложных информационных систем (СИС), множество узлов U графа G можно разбить на три подмножества по признаку их связности:

систем управления – узлов системы, обладающих различной структурой и характеризуемого как коэффициент структурной неопределенности системы (КСНС). Идея основана на следующей аксиоме: при увеличении количества транзитных узлов в информационной системе, обладающей однородным весом узлов в слоях, до общего количества узлов системы, КСНС приближается к нулю, а информационные потери к значению, соответствующему показателю потери информации узла нижнего слоя. Для получения численного результата величины КСНС предлагается использовать следующее выражение:

Таким образом, в рамках решения задачи исследования структуры СИС полагаем рассматриваемую систему обладающей наивысшей живучестью (в пределах исследуемой конкретной топологии), если коэффициент структурной неопределенности системы (Ψ) близок к нулю и не изменяется при трансформации узлов.

Коэффициент структурной неопределенности системы (Ψ) подобен хэш-функции:

легко вычисляется путем некоторых преобразований (простых);

позволяет соизмерять топологическую сложность различных структур;

обладает высокой сложностью или невозможностью по своему значению судить о характеристиках системы;

имеет возможность быть одинаковой величиной для структур с различными топологиями (коллизии).

Безусловно для полноценного исследования живучести СИС необходима ее проверка на уязвимость, для чего необходимо выполнить построение модели на основе выбора критерия, который отступает от условий полной неопределенности и предполагает, что возможным неблагоприятным воздействиям можно приписать определенную вероятность их наступления и, определив математическое ожидание выигрыша для каждого решения, выбрать то, которое обеспечивает наибольшее значение выигрыша.

Пусть $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_i$ – различные группы неблагоприятных воздействий, влияющие на объекты сложной

информационной системы управления O_1, O_2, O_j . Группа θ_i состоит из элементов $D_{i1}, D_{i2}, D_{ik}, \dots$, т.е. $\theta_i = \{D_{i1}, D_{i2}, \dots, D_{ik}\}$. При этом сила влияния каж-

$$f_{\varepsilon}(D_{ik}, O_j) = U(i, k, j) \geq 0, \quad (3)$$

где: U - непустое множество узлов.

при $t > 0$.

$$Y_i(t) = U_i(t) - U_i(t-1), \quad (4)$$

Внешнее воздействие θ_i определяется в дискретном времени $i=1, 2, 3 \dots m$, которое задается выражением:

Тогда для $t > 0$ для i -й вершины графа G результатом внешнего воздействия будет:

$$U_i(t+1) = U_i(t) + \sum_{i=1}^k S_i Y_i(t), \quad (5)$$

где: S_i - величина потерь информации, при утрате i -го узла;

полагая при этом, что k - число узлов смежных i узлу, которые являются началом X дуг.

Затем выполняется построение матрицы эффективности, в которой вычисляются потери информации в СИС в зависимости от количества D_{ik} неблагоприятных воздействий и вероятностей разрушения узла сети с учетом частот, характеризующих распределение, соответствующее неблагоприятным воздействиям и выбор решения в соответствии с критерием оптимизации.

Таким образом, коэффициент структурной неопределенности чувствителен к количеству системообразующих элементов и количеству уровней иерархии. Добавление в систему новых системообразующих элементов приводит к меньшему увеличению системного эффекта. При этом прослеживается тенденция уменьшения различия в коэффициенте структурной неопределенности при переходе от

структур с меньшим уровнем иерархий к структурам с большим количеством.

Список литературы

Воронин А.А. *Оптимальные иерархические структуры*. / А.А. Воронин, С.П. Мишин - М.: ИПУ РАН, 2003. - 214 с.

Цвиркун А.Д. *Структура сложных систем*. - М.: «Сов. Радио», 1975. - 200 с.

Симанков В.С. *Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов. Монография (научное издание)*. / В.С. Симанков, Е.В. Луценко - Краснодар: ТУ КубГТУ, 1999. - 318 с.

Яковлев А.В. *Влияние системообразующих факторов на организацию систем*. / А.В. Яковлев, В.Е. Дидрих, Ю.Ф. Мартмянов, В.Е. Подольский // «Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика» - М.: «Научтехлитиздат», 2012, № 3. - с.54-57.

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЗАТРАТ В СЕТИ LORAWAN

Analysis of energy consumption in the LoRaWAN network

Н.В. Степанов

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*Н.В. Степанов – студент кафедры технологий защиты информации,
научный руководитель профессор А.М. Тюрликов*

В данном докладе проведен краткий аналитический обзор основных энергетических затрат сети LoRaWAN, возникающих при проектировании и разработке беспроводных сенсорных сетей. Описан пример использования определённого оборудования, доступного на сегодняшний день на рынке, для подведения итогов по энергозатратам.

Молодая система LoRaWAN активно внедряется в современную концепцию Интернета Вещей (IoT). Данная сеть использует архитектуру построения «звезда», т.е. вся информация приходит на базовую станцию (БС), а устройства способны обмениваться сообщениями только с БС. Одной из главных особенностей системы является экономия энергозатрат. Энергосбережение определяется особенно-

стью работы абонентских устройств или сенсорные узлы. В них задаётся режим сна, в котором устройства находятся до момента появления сигнала от внешнего сигнала, т.е. сенсорные узлы работают как устройства класса А LoRaWAN. Полное описание модели системы даётся в работах [1] и [2]. В частности, мы подразумеваем, что устройства отправляют свои данные в режиме без подтверждения.

Мы рассматриваем простейший сценарий работы системы, когда все сенсорные узлы передают с одинаковой периодичностью и одинаковой настройкой технических характеристик, которая включает в себя полосу пропускания, скорость кода, длину пакета, усиление сигнала. Кроме того,

организационно устройства расположены в одинаковых радиоусловиях. Назначение коэффициента расширения (SF) сигнала основывается на удалённости сенсорных узлов от БС, которая объяснена в работе [3]. Чтобы приблизить результат энергопотери к реальности, мы также учитываем потребление сенсоров, которое мы берем из работы [2]. В данном сценарии, когда используется небольшое число устройств и размер пакета порядка 10 байт, передача осуществляется с высокой вероятностью успешной доставки пакета.

Мы предполагаем, что узел датчика питается от трех щелочных первичных батарей типа АА, каждая из которых имеет номинальное напряжение 1,5 В и типичную емкость 2800 мАч (например, [4]). Следовательно, общая емкость энергетического буфера сенсорного узла равна 45,360 кДж. Для нашего сценария мы считаем, что узлы датчика имеют ограниченный энергетический буфер на основе литий-ионных батарей с общей емкостью 43,416 кДж (например, один элемент Panasonic NCR18650B 18650 [5]: номинальное напряжение 3,6 В, Типичная емкость 3350 мАч, зарядный ток 1,625 А). Для обоих этих случаев мы считаем, что время жизни сенсорного узла описывается линейной моделью батареи из работы [6].

Мы исследовали энергетические характеристики системы, анализируя среднее энергопотребление для сенсорных узлов в зависимости от ее SF и периода генерации пакета. От отчетного периода энергопотребление различается на двух уровнях - от сотен микроватт до почти пятидесяти милливатт. Также с увеличением SF потребление сенсор-

ных устройств возрастает нелинейно. Разница в среднем потреблении между устройствами с SF7 меньше в 1,5-3 раза по сравнению с устройством с SF12, в зависимости от периода генерации пакета. Срок службы сенсорных устройств может варьироваться в диапазоне от нескольких месяцев при периоде передачи сообщений в минуту на SF12 до более шести лет с ежесуточной отправкой на SF7. Кроме того, устройства, использующие разные SF, разряжают свои батареи в разные моменты времени. Отсюда получаем зависимость времени полной разрядки ёмкости энергетического буфера устройства от SF и периода генерации пакета.

Список литературы

- Casals L. et al. *Modeling the energy performance of LoRaWAN //Sensors.* – 2017. – Т. 17. – №. 10. – С. 2364.
- Bouguera T. et al. *Energy consumption model for sensor nodes based on LoRa and LoRaWAN //Sensors.* – 2018. – Т. 18. – №. 7. – С. 2104.
- Van den Abeele F. et al. *Scalability analysis of large-scale LoRaWAN networks in ns-3 //IEEE Internet of Things Journal.* – 2017. – Т. 4. – №. 6. – С. 2186-2198.
- Energizer EN91. *Product Datasheet, 2018.*
- Panasonic NCR18650B, 2018.
- Rukpakavong W., Guan L., Phillips I. *Dynamic node lifetime estimation for wireless sensor networks //IEEE Sensors Journal.* – 2013. – Т. 14. – №. 5. – С. 1370-1379.

О ТРЕХСЛОЙНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРАХ БАТТЕРВОРТА

About three-layered Butterworth optical filters

Ю.И. Худак, Д.В. Парфенов, И.А. Ахмедов

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

Приведены достаточные условия для существования трехслойного оптического фильтра с максимально плоской характеристикой. Такие фильтры обладают довольно хорошим просветлением в относительно широкой полосе частот. Однако авторам неизвестно

наличие теоретических работ, в которых бы было доказано, что указанные фильтры существуют при количестве слоев $N > 2$.

1. Задача об отыскании плоских электромагнитных полей в СДС приводится к **основной системе алгебраических** уравнений относительно амплитуд прямой и обратной волн $\vec{C}_j = (C_0^{(j)}, C_1^{(j)})$ в j -ом слое ($j = 0, 1, \dots, N + 1$):¹

$$B_j \vec{C}_j = B_{j+1} S_j \vec{C}_{j+1}, \text{ где } B_j = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ p_j & -p_j \end{pmatrix}, S_j = \begin{pmatrix} e^{-iv_j k} & 0 \\ 0 & e^{iv_j k} \end{pmatrix}$$

¹ Номера $0, N + 1$ присвоены полупространствам с параметрами ε_j, μ_j слева и справа от СДС.

$n_j = (\varepsilon_j \mu_j)^{1/2}$ - коэффициент преломления, $p_j = (\frac{\varepsilon_j}{\mu_j})^{1/2}$ - импеданс, $v_j = n_j h_j$ - электрическая толщина

j - ого слоя СДС, а k - волновое число.

2. При **отсутствии отражения** на $+\infty$: $C_1^{(N+1)} = 0$, и **нормировке поля по прохождению**: $C_0^{(N+1)} = 1$, решение **прямой задачи единственно**.

3. Амплитуды прямой и обратной волн слева от СДС связаны тождеством:

$$|C_0^{(0)}|^2 - |C_1^{(0)}|^2 = \Theta, \text{ где } \Theta = \frac{P_{N+1}}{P_0},$$

сводящим анализ дробно-рациональных энергетических коэффициентов отражения и пропускания к анализу квадратичных **профилирующих функций (ПФ)**: $|C_s^{(0)}|^2$, $s=0, 1$.

4. **Определение просветления** на заданной частоте ω_0 плоскости π_0 - **границы** двух полупространств, когда

коэффициент отражения Френеля $R_F = \left(\frac{1-\Theta}{1+\Theta}\right)^2$, где $\Theta = \frac{p_+}{p_-}$, а p_- и p_+ - импедансы веществ, слева и

справа от плоскости π_0 .

После нанесения на границу слоев диэлектриков "новая" СДС дает **просветление** на частоте ω_0 , если:

$$R(\omega_0) < R_F. \tag{1}$$

Показано, что (1) эквивалентно квадратичным неравенствам для **ПФ**.

5. При $N = 2$ профилирующая функция $\mathbf{F}(\omega; \vec{p}, \vec{v})$ имеет вид:

$$\mathbf{F}(t_1, t_2) \equiv |C_1^0(\omega)|^2 = (\alpha_0 x_1 x_2 - \alpha_3 y_1 y_2)^2 + (\alpha_1 x_1 y_2 + \alpha_2 y_1 x_2)^2,$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{2}(1-\Theta), \quad \alpha_1 = \frac{1}{2}\left(\theta_3 - \frac{\Theta}{\theta_3}\right), \quad \alpha_2 = \frac{1}{2}\left(\frac{\Theta}{\theta_1} - \theta_1\right), \quad \alpha_3 = \frac{1}{2}\left(\theta_2 - \frac{\Theta}{\theta_2}\right),$$

$$x_1 = \cos \omega v_1, \quad x_2 = \cos \omega v_2, \quad y_1 = \sin \omega v_1, \quad y_2 = \sin \omega v_2, \quad \theta_i = \frac{p_i}{p_{i-1}}, \quad \Theta = \frac{p_3}{p_0}.$$

и фильтр Баттерворта при $t_2 = t_1$ для подобных систем получается, как решение системы двух уравнений: $\alpha_3 = 0$, $\alpha_1 + \alpha_2 = 0$ относительно двух параметров p_1, p_2 - материалов слоев системы.

При $N = 3$ профилирующая функция $\mathbf{F}(\omega; \vec{p}, \vec{v})$ имеет вид:

$$F(t_1, t_2, t_3) \equiv |C_1^0(\omega)|^2 = (\alpha_0 x_1 x_2 x_3 - \alpha_3 x_1 y_2 y_3 - \alpha_5 y_1 x_2 y_3 - \alpha_6 y_1 y_2 x_3)^2 + (\alpha_1 x_1 x_2 y_3 + \alpha_2 x_1 y_2 x_3 + \alpha_4 y_1 x_2 x_3 - \alpha_7 y_1 y_2 y_3)^2$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{2}(1-\Theta), \alpha_1 = \frac{1}{2}(\Theta_4 - \Theta_1 \Theta_2 \Theta_3), \alpha_2 = \frac{1}{2}(\Theta_3 \Theta_4 - \Theta_1 \Theta_2),$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{2}(\Theta_3 - \Theta_1 \Theta_2 \Theta_4), \alpha_4 = \frac{1}{2}(\Theta_2 \Theta_3 \Theta_4 - \Theta_1), \alpha_5 = \frac{1}{2}(\Theta_2 \Theta_3 - \Theta_1 \Theta_4),$$

$$\alpha_6 = \frac{1}{2}(\Theta_2 - \Theta_1 \Theta_3 \Theta_4), \alpha_7 = \frac{1}{2}(\Theta_2 \Theta_4 - \Theta_1 \Theta_3)$$

$$x_j = \cos \omega v_j, y_j = \sin \omega v_j, j = \{1, 2, 3\}, \Theta_i = p_i/p_{i-1}, i = \{1, 2, \dots, N\}, \Theta = p_{N+1}/p_0.$$

Система уравнений, определяющих параметры фильтра Баттерворта при $t_3 = t_2 = t_1$ записывается в виде трех уравнений: $\alpha_7 = 0$, $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_4 = 0$, $\alpha_3 + \alpha_5$

$+ \alpha_6 = 0$, относительно трех параметров p_1, p_2, p_3 - материалов слоев системы.

При $\theta_4 = \theta_1$ из определения коэффициентов профилирующей функции при $N = 3$ получаем: $\alpha_7 = -\alpha_2$ и $\alpha_4 = -\alpha_1$. Если дополнительно положить $\theta_3 = \theta_2$, то будут также выполнены равенства: $\alpha_7 = \alpha_2$ и $\alpha_6 = \alpha_3$.

Поэтому, при выполнении обеих сделанных предположений будут выполнены условия: $\alpha_7 = \alpha_2 = 0$, из которых следует выполнение первых двух уравнений, определяющих фильтр Баттерворта при $N = 3$, а третье уравнение, в виду определения вычислительных параметров α_3, α_5 , приведет к виду: $\theta_1^2(1 + 2\theta_2) = \theta_2(\theta_2 + 2)$ с очевидным решением в виде: $\theta_1^2 = \theta_2(\theta_2 + 2) / (1 + 2\theta_2)$.

При этом $\theta_1^2 \rightarrow 2$ при $\theta_2 \rightarrow 0$ и $\theta_1^2 \rightarrow 1/2$ при $\theta_2 \rightarrow +\infty$, а при $\theta_2 \rightarrow 1$, $\theta_1^2 \rightarrow 1$, что ведет к двойному вырождению трехслойной системы.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ АНАЛОГОВЫХ БЛОКОВ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ВНЕШНИХ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ

Information-analytical system of estimation of metrological reliability of analog blocks of information-measuring systems taking into account external influencing factors

Т.И. Чернышова, Р.Ю. Курнос

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Разработана информационно-аналитическая система, в которой реализован метод оценки метрологической надежности аналоговых блоков (АБ) информационно-измерительных систем (ИИС), с учетом внешних влияющих факторов, базирующийся на построении математических моделей изменения во времени метрологических характеристик проектируемых АБ ИИС с использованием аппарата аналитико-вероятностного прогнозирования.

При проектировании электронных измерительных средств (ЭИС), в том числе информационно-измерительных систем (ИИС), особо важным является вопрос обеспечения их высокой метрологической надежности (МН), определяющейся характером и темпом изменения нормируемых метрологических характеристик (МХ) проектируемых ЭИС в течение всего времени эксплуатации. Известно, что МН ИИС определяется МН составляющих измерительный канал аналоговых блоков (АБ) [1]. Для принятия решений по оценке МН АБ ИИС при их проектировании разработана информационно-аналитическая система (ИАС), которая позволяет реализовать основные этапы расчетов по оценке состояния исследуемых МХ и МН АБ ИИС, определить требуемые рекомендации по метрологическому обслуживанию АБ, а также выбрать оптимальное математическое описание процесса изменения во времени МХ проектируемого блока [2].

Список литературы

- И.А. Ахмедов, Ю.И. Худак, Proceedings of the 8th Congress of the International Society for Analysis, its Applications, and Computation (22-27 August 2011), Volume 1, Moscow: Peoples' Friendship University of Russia, 123-128, (2012).*
Ю.И. Худак, Доклады АН, т.448, №5, 1-4, (2013).
И.А. Ахмедов, Ю.И. Худак, Нелинейный мир, №10, 12-15, (2013).
И.А. Ахмедов, Н.В. Музылев, Д.В. Парфенов, Ю.И. Худак, Электромагнитные волны и электронные системы, №2, 24-32, (2016).
И.А. Ахмедов, Н.В. Музылев, Д.В. Парфенов, Ю.И. Худак, Нелинейный мир, №2, 38-48, (2016).

Разработанная ИАС реализует процедуру статистического моделирования значений МХ в различные моменты времени контроля на основе построенной ММ МХ вида:

$$S = F(x, \vec{\xi}, \vec{\phi}) \quad (1)$$

где x – входной сигнал АБ;

$\vec{\xi} = \{ \xi_1 \dots \xi_n \}$ – вектор параметров элементной базы АБ, $\vec{\phi} = \{ T, F, P, E \}$ – вектор внешних влияющих факторов – температуры T , влажности F , давления P и радиационного воздействия E .

С учетом временного изменения параметров, входящих в модель (1), окончательно для построения ММ изменения во времени МХ проектируемого АБ используется зависимость вида:

$$S(t) = F[x, \vec{\xi}(t), \vec{\phi}] \quad (2)$$

В основе ИАС лежит база данных номиналов элементов проектируемых АБ и математических моделей изменения во времени параметров составляющих АБ элементов. Интерфейс ИАС позволяет добавить в библиотеку новые данные, не заложенные ранее в нее разработчиком.

ИАС реализует статистическое моделирование временных изменений МХ АБ и формирует математическую модель изменения во времени МХ, которая представляет совокупность аналитических

зависимостей, полученных для функций изменения во времени математического ожидания и функций, характеризующих изменение во времени границ отклонения возможных значений MX от ее математического ожидания при различных условиях эксплуатации. ИАС позволяет производить выбор оптимального математического описания изменения во времени MX АБ ИИС с выводом результатов в таблицы и построением соответствующих графических зависимостей. Результаты проведенного таким образом математического моделирования дают возможность определить величину метрологического ресурса (МР), как основного показателя МН проектируемого АБ.

Полученные сведения о МН могут быть использованы при организации метрологического обслуживания ИИС. Рассматриваемая ИАС позволяет обоснованно выбирать величину межповерочного интервала (МПИ). Расчет величины МПИ базируется на условии постоянства величины степени накопления метрологических дефектов между проведением проверок, что определяется по построенной априори математической модели изменения во времени MX . С учетом темпа изменения во времени MX ИАС производит корректировку величины МПИ при приближении к прогнозируемому значению времени метрологического отказа.

Таким образом, разработанная ИАС позволяет оперативно определять МН проектируемых АБ ИИС с учетом различных произвольных сочетаний внешних влияющих факторов предстоящей эксплуата-

ции, дать рекомендации как по метрологическому обслуживанию ИИС, так и по выбору условий эксплуатации, обеспечивающих требуемое или максимальное значение показателя метрологической надежности АБ – метрологического ресурса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственное задание. Проект «Интеллектуальная информационно-измерительная и управляющая система оперативного контроля теплофизических характеристик теплоизоляционных материалов, применяемых в условиях Арктики. Разработка теоретических основ, методологии построения интеллектуальных информационно-измерительных и управляющих систем»).

Список литературы

1. Чернышова Т.И. Математическое моделирование метрологических характеристик при оценке метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская, Р.Ю. Курносков // Вестник ТГТУ, – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 209 – 215.

2. Чернышова Т.И. Применение математического моделирования при реализации методов оценки и повышения метрологического ресурса аналоговых блоков информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Вестник ТГТУ, – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 239 – 247.

Секция 9. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ РАЗНОФОРМАТНОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ СИСТЕМ ПРИ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ ОБЪЕКТА

Special aspects of synthesis of optimal time systems with incomplete data about object

К.Г. Фаворский, Е.К. Фаворский

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
LLC Union-17 (Dunchoille Holdings LTD, Limassol, Cyprus)

Рассматривается синтез оптимального по быстродействию управления при восстановлении полной информации с помощью наблюдателей Калмана

При создании автоматических систем необходимо учитывать различные критерии качества, которые невозможно объединить единым множеством и выбрать объединяющий критерий качества. В некоторых случаях невозможно обеспечить полную информацию о состоянии объекта путём установки на борту необходимое количество электромеханических датчиков из-за экономических соображений. Поэтому проблема синтеза оптимальных по быстродействию систем при неполной информации о состоянии объекта является актуальной. Рассмотрим методы решения задачи. 1. Известен метод синтеза оптимальных по быстродействию систем с использованием P -функций. [1]. Недостатки метода: метод используется для систем не выше второго порядка и с ограничениями на начальные условия управления. 2. Использование дифференцирования в регуляторе приводит к увеличению высокочастотных помех и переход от детерминированной системы к стохастической. 3. Восстановление полной информации с помощью наблюдателей Калмана [2] при синтезе оптимальной по быстродействию системы имеет свои особенности, что является темой исследований.

Наблюдатель $\dot{x}_1 = Ax_1 + BU + K(t)[y - Cx_1]$ для системы управления с n -мерным объектом управления $\dot{x} = Ax + BU$ и с m мерным вектором выхода $y = Cx$ (при условии полной наблюдаемости) восстанавливает состояние x_1 до n мерного вектора x . Ошибка восстановления $e(t) = x(t) - x_1(t)$ определяется из дифференциального уравнения $\dot{e} = [A - K(t)C]e$. Время восстановления зависит от выбора $K(t)$ и определяется корнями характеристического полинома уравнения относительно e .

Все корни уравнения при вариации K могут занимать произвольное положение на комплексной плоскости. Но чрезмерный сдвиг корней влево невозможен из-за ограничений диапазона изменения переменных состояния и увеличения чувствительности к шуму. Ступенчатое уменьшение величин матрицы $K(t)$ позволяет упростить наблюдатель, не доводя его до оптимального фильтра Калмана – Бьюси. Особенностью синтеза управления является последовательность по времени процедур наблюдения и управления. При одновременности этих процессов время наблюдения с заданной точностью должно закончиться до момента первого переключения управления и величины $x_1(t)$ не должны пересекаться с гиперповерхностью оптимального переключения до этого времени. Эти особенности накладывают ограничения на начальные условия управления. Начальные условия не должны располагаться близко (отсчёт в обратном времени) от гиперповерхности переключения. Синтез оптимального по быстродействию управления разработан для детерминированных систем для которых шумы и помехи малы. Это даёт возможность выбрать масштабы переменных состояния модели в широком диапазоне и увеличить элементы матрицы K для уменьшения времени восстановления полной информации. Рассмотренный метод синтеза был реализован для управления объектом при проведении натурных испытаний.

Список литературы

1. Репников А. В. Колебания в оптимальных системах автоматического регулирования, » глава 6. «Машиностроение», М., 1968г.
2. Х. Квакернаак, Р Сиван, «Линейные оптимальные системы управления», глава 4, «МИР», М., 1977г.

ОСОБЕННОСТИ ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ ДЛЯ УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Features of the alarm system for educational premises

А.П. Величко, В.В. Гаврилушкина

«МИРЭА – Российский технологический университет»

*В.В. Гаврилушкина – магистр каф. "Приборы и информационно-измерительные системы",
научный руководитель доцент А.П. Величко*

В данной статье рассматривается возможность разработки системы охранной сигнализации для кафедральной лаборатории с помощью уже имеющегося датчика движения и расчета соответствующих характеристик.

Среди основных задач поставленных в рамках данной темы, одной из наиболее важных является способность уже имеющегося датчика определять габариты нарушителя, попадающего в его поле действия во избежание ложного срабатывания. Благодаря заданным параметрам, полученная система сможет отслеживать габариты объектов, находящиеся в зоне ее действия и срабатывать в том случае, если нарушитель будет соответствовать заданным требованиям.

Данное условие можно достигнуть, если добавить в датчик микропроцессор и установить СВЧ радио излучатель, который и определяет размеры нарушителя и сравнивает с установленными порогами, а так же принимает решение о подаче импульсного сигнала. [1].

Для устранения ложного срабатывания связанного с появлением в зоне действия таких мелких объектов как грызуны, необходимо расположить перед датчиком защитный экран, который поможет создать слепую зону, при которой датчик не будет реагировать на мелких нарушителей.

Расположение датчика на оптимально подходящую высоту, таким образом, что бы все пространство входило в зону виденья и сводило к минимуму слепую зону. В конкретных случаях рассматривается не только высота расположения датчика, но и угол обзора. В зависимости от модели датчика движения имеют зону действия от 120° до 280°.

Датчик движения имеет несколько зон обнаружения объектов: Объемная – присуща извещателю настенного исполнения, радиус действия достигает 12-ти метров; поверхностная зона обнаружения «штора»- При угле обзора в 12 градусов, радиус действия достигается в 10 метров. И линейная зона в виде луча, по своим характеристикам схожа с поверхностной зоной обнаружения.

Диапазон обнаружения связан с параметром дальности действия, который обозначает пространство, в котором датчик видит объект в метрах. Расстояние определяется в трех плоскостях: перпендикулярно, т. е человек движется по касательной к окружности в центре которого стоит датчик. Фрон-

тально, т. е человек движется непосредственно на датчик. И присутствия, т. е человек, работает под датчиком, например, сидя за столом.

Дальность действия датчика зависит от того как перемещается объект по отношению к датчику. Если он движется в перпендикулярном направлении, то сенсор имеет максимальную дальность действия. Если же движение осуществляется по направлению к датчику, т.е фронтально, зона охвата сокращается почти вдвое. Так же датчики имеют минимальную дальность действия, если движение происходит непосредственно под сенсором.

Для того, что бы сконфигурировать контролируемую зону, необходимо иметь сменные линзы, которые позволяют расширить критерий поставленных задач, ведь именно от них будет зависеть как хорошо по «горизонтали» и по «вертикали» будет видеть датчик.

Принцип действия датчика. Фоновое инфракрасное излучение контролируемой зоны с помощью переднего стекла (линзы) фокусируется на фототранзисторе, чувствительном к ИК-лучам. Поступающее от него малое напряжение усиливается с помощью операционных усилителей (ОУ) микросхемы, входящей в схему датчика. В нормальных условиях электромеханическое реле включения нагрузки обесточено. Как только в контролируемой зоне появляется движущийся объект, освещенность фототранзистора изменяется, он выдает на вход ОУ измененное напряжение.

Температура окружающей среды, где будет устанавливаться датчик, имеет существенное влияние на чувствительность обнаружения. Чем выше температура, тем более низка чувствительность, потому что прибор работает на разнице температуры среды и объекта.

Список литературы

1. «Пассивный инфракрасный датчик движения»- Автор: Н.Л. Власюк, Радиоаматор №5, 2006
2. [http://guarda.ru/infra_red/17/]- Дата обращения (05.10.19)
3. [<http://beg-russia.ru/blog/2016/12/09/tehnicheskie-harakteristiki-datchika-dvijeniya/>]-Дата обращения(05.10.19)
4. «Интеллектуальные оптические измерители расстояния и габаритов Baumer Electric для промышленного оборудования».

**РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ГЕНЕРАТОРА
ПУЛЬМОНОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

Designing an electronic unit of pulmonary waveform generator

С.А. Канаев, А.С. Конькова, М.Ю. Молозина, О.В. Москаленко, А.В. Торчинская

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва

А.С. Конькова, М.Ю. Молозина – магистры кафедры КБ-6
«Приборы и информационно-измерительные системы»,

научные руководители доц. А.В. Торчинская, ст. преп. С.А. Канаев и О.В. Москаленко

Рассматриваются особенности реализации электронного блока автоматизированного генератора пульмонологических сигналов (АГПС), а также состав и области применения АГПС.

На кафедре КБ-6 «Приборы и информационно-измерительные системы» реализуется комплекс проектов [1-4], одним из которых является разработка автоматизированного генератора пульмонологических сигналов (АГПС). АГПС представляет собой комплекс аппаратно-программных средств, основным назначением которого является формирование воздушных потоков с постоянной скоростью воспроизведения или потоков с нелинейным скоростным профилем [1]. Основными областями использования АГПС является калибровка [1-4], поверка [1-2] и проведение сравнительных испытаний современного спирометрического оборудования (далее – спирометры) [1-2], а также проведение лабораторных занятий и аттестационных мероприятий врачей-пульмонологов, врачей функциональной диагностики и медицинского персонала. Основными элементами АГПС являются: электронный блок управления (ЭБУ), шаговый или сервошаговый электродвигатель, модуль линейного перемещения, датчики угловых и линейных перемещений, персональный компьютер [1-2]. Одной из наиболее ответственных задач при разработке АГПС является разработка ЭБУ.

При разработке ЭБУ одним из главных требований являлось исключение влияния помех, формирующихся при работе драйвера электродвигателя и силовой части схемы (схема сопряжения с драйвером), на работу остальных частей электронного блока. Для этого была введена двухуровневая гальваническая развязка силовой части. В каналах подключения концевых датчиков также реализована гальваническая развязка. Каналы подключения датчика и сопряжения с драйвером электропривода являются универсальными. Питание силовой части и блока концевых датчиков осуществляется посредством DC-DC преобразователей с гальванической развязкой входных и выходных цепей. Напряжение питания цифровой части схемы формируется линейным стабилизатором напряжения. Связь с персональным компьютером осуществляется по гальванически развязанному интерфейсу USB. В качестве микроконтроллера (МК) исполь-

зуется микросхема ATmega1280. Программирование МК осуществляется по интерфейсам ISP или JTAG.

Разработанный ЭБУ позволяет осуществлять работу АГПС как под управлением ПК, так и в автономном режиме. Для работы в автономном режиме в состав ЭБУ включен считыватель SD-карт, через который осуществляется загрузка циклограмм для формирования пульмонологических сигналов. После завершения разработки был изготовлен и отлажен макетный образец ЭБУ. При отладке макетного образца ЭБУ было разработано встраиваемое программное обеспечение для МК, управляющие программы для ПК, разработан протокол обмена для ПК и МК. Отладка ЭБУ проводилась в составе макетного образца АГПС. Для создания макетного образца АГПС использовались следующие элементы: трехлитровый калибровочный шприц, сервошаговый двигатель iES-2320 со встроенным драйвером, модуль линейного перемещения CCM-W60-1100-1A, импульсный блок питания S-360-36, набор индуктивных датчиков SN04-N DC10-30V, разработанный ЭБУ, ПК, дополнительные элементы крепежа и изготовленные соединительные кабели.

После завершения подготовительных работ предполагается реализация процедуры внесения АГПС в Государственный реестр средств измерений, получение свидетельства утверждения типа средства измерений, организация выпуска АГПС в качестве самостоятельного продукта.

Список литературы

1. Канаев С.А., Конькова А.С., Молозина М.Ю., Москаленко О.В., Торчинская А.В. Разработка генератора пульмонологических сигналов для калибровки и поверки телемедицинских спирометров // *Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сборник трудов XXVII Междунар. научно-технич. конф. – Алушта, 2018. – С. 220–221*
2. Канаев С.А., Конькова А.С., Молозина М.Ю., Москаленко О.В., Торчинская А.В. Стенд для калибровки и термокомпенсации портативных спирометров и спироанализаторов // *Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сборник трудов XXVI*

Международ. научно-технич. конф.– Алушта, 2017. – С. 123–124

3. Канаев С.А., Конькова А.С., Молозина М.Ю., Москаленко О.В., Торчинская А.В. Особенности аппаратно-программной реализации электронного

блока для мобильного спирометрического комплекса // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сборник трудов XXVI Международ. научно-технич. конф.– Алушта, 2017. – С. 189–190

ПРОГРАММА МНОГОУРОВНЕВОЙ ПОРОГОВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ИЗ ОТТЕНКОВ СЕРОГО ПО МЕТОДУ АРИФИНА

The program of multilevel thresholding segmentation of grayscale images by Arifin's method

И.Г. Ханьков

Санкт-Петербургский Институт информатики и автоматизации Российской академии наук

Приводится основная идея метода Арифина многоуровневой пороговой обработки изображений из оттенков серого. Описывается функционал, используемый для вычисления расстояния между смежными кластерами. Раскрывается структура программы, реализующей метод. Описываются составные этапы программы. Приводятся операции над уровнями серого, формирующие основное тело программы.

Метод Арифина [1] пороговой обработки изображений из оттенков серого заключается в последовательном объединении пар смежных кластеров пикселей в один. Кластер образуют пиксели одного уровня серого. На каждом шаге вычисляется расстояние между непустыми кластерами и выбирается для объединения такая смежная пара кластеров, которая характеризуется меньшим значением функционала расстояния. Расстояние между смежными кластерами 1 и 2 задается произведением межклассовой и внутриклассовой дисперсий:

$$Dist(1, 2) = \sigma^2_I(1U2) \times \sigma^2_A(1U2).$$

Межклассовая дисперсия $\sigma^2_I(1U2)$ задается квадратом разности средних значений по кластерам 1 и 2. Минимум межклассовой дисперсии σ^2_I означает близость средних значений двух объединяемых кластеров. Внутриклассовая дисперсия $\sigma^2_A(1U2)$ задается через сумму разностей значений всех входящих в укрупненный кластер пикселей и его средней яркостью. Минимум внутриклассовой дисперсии σ^2_A указывает, на сколько близко между собой пиксели уже объединенных кластеров.

Программа реализации метода Арифина состоит из двух этапов. На первом подготовительном этапе по исходному изображению из оттенков серого генерируется гистограмма яркостей, из которой извлекаются непустые уровни серого для формирования базовой структуры данных типа массив. В базовом массиве содержатся значения констант и переменных, участвующих в вычислении расстояний между соседними кластерами. Длина базового массива равна числу непустых уровней яркости z , глубина – по числу переменных и констант. Вместе с заполнением базового массива вычисляется первая пара кластеров с минимальным расстоянием.

Как только базовый массив заполнен, начинается – второй этап – последовательное объединение кластеров. Основное тело программы формирует цикл, который за одну итерацию выполняет ряд расчетов:

-- Перенумеровка кластеров. Как только пара кластеров с минимальным расстоянием определена, то в базовом массиве им присваивается единый порядковый номер кластера. Все последующие кластеры перенумеровываются.

-- Расчет вероятности и среднего значения яркости укрупненного кластера. Запись значений.

-- Расчет межклассовой дисперсии и глобального среднего для пары предыдущий и текущий укрупненный кластер. Запись данных в соответствующие укрупненному кластеру ячейки базового массива.

-- Расчет межклассовой дисперсии и глобальной средней яркости для пары текущий укрупненный кластер и следующий за ним.

-- Расчет вспомогательной переменной *summa* для предыдущего и текущего укрупненного кластера. Переменная участвует в вычислении внутриклассовой дисперсии.

-- Расчет вспомогательной переменной *summa* для текущего укрупненного и следующего кластера.

-- Расчет внутриклассовой дисперсии для предыдущего и текущего укрупненного кластера.

-- Расчет расстояний и выбор кластера с минимальным расстоянием до предыдущего.

Каждую итерацию основного цикла тела программы завершает процедура формирования очередного разбиения изображения на кластеры. Исходное изображение служит опорой для пространственного расположения кластеров пикселей. Очередное разбиение получается из исходного изображения заменой яркостей пикселей на уже рассчитанные значения из базового массива.

Список литературы

Arifin, A.Z., Asano A. Image segmentation by histogram thresholding using hierarchical cluster analysis. *Pattern Recognition Letters*. 2006. Vol. 27. No. 13. Pp. 1515-1521. DOI:10.1016/j.patrec.2006.02.022

ПРОТОТИПИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СИНТЕТИЧЕСКОГО ВИДЕНИЯ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ГРАЖДАНСКИХ САМОЛЁТОВ

Development and testing of the synthetic vision system model for modern civil aircraft

Е.С. Неретин, С.А. Дяченко, Е.М. Мамкин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

С.А. Дяченко – аспирант каф. «Системное проектирование авиакомплексов»,

Е.М. Мамкин – студент каф. «Системное проектирование авиакомплексов»,

научный руководитель к. т. н., доцент, заведующий кафедрой

«Системное проектирование авиакомплексов» Е.С. Неретин

В работе исследуются алгоритмы и программная реализация модели системы синтетического видения (ССВ) для формирования трёхмерной (3D) модели рельефа на пилотажных индикаторах с высокой степенью информативности для перспективных гражданских самолётов. Разработанная модель ССВ позволяет в режиме реального времени восстанавливать 3D-план топографических участков земной поверхности. Приводятся результаты моделирования работы ССВ на примере восстановления горного массива Кондёр и горы Фудзияма.

В целях повышения безопасности полётов современных летательных аппаратов (ЛА) и расширения функционала комплекса бортового оборудования (КБО) актуальной задачей является разработка и внедрение в состав авионики самолётов ряда вспомогательных систем, увеличивающих ситуационную осведомлённость экипажа и значительно снижающих вероятность человеческой ошибки в случае аварийной ситуации.

Результаты психофизических исследований показали, что при приближении к земле определение пилотами пространственного положения воздушного судна осуществляется по линии горизонта и объектам, находящимся в зоне посадки. Однако в условиях пониженной видимости возможно возникновение ложного представления о положении борта. Для исключения вышеуказанного фактора, способного негативно повлиять на управление ЛА, в частности, предназначены системы технического видения, предоставляющие экипажу информацию об ориентации самолёта относительно окружающего пространства в удобной для человека визуализированной форме [1].

Среди СТВ наиболее предпочтительными с точки зрения интеграции в состав КБО являются ССВ, не требующие установки дополнительного оборудования на борт и позволяющие получать изображение подстилающей поверхности в 3D-виде с высокой степенью информативностью.

ССВ представляет собой программно-аппаратное средство, синтезирующее в бортовом вычислителе и отображающее на пилотажных индикаторах изобра-

жение топографического участка местности, наблюдаемого из кабины экипажа [2].

Целью работы является прототипирование ССВ, предназначенной для перспективных гражданских самолётов, на реальных географических объектах.

Модель ССВ разработана в системе аналитических вычислений MATLAB. В качестве базы данных (БД) подстилающей поверхности выбрана цифровая модель рельефа территории Земли SRTM. Восстановление топографических участков местности в трёхмерном виде обеспечивается при помощи полигонального моделирования (путём построения сетчатой параметризованной поверхности), а для окраски полученной модели рельефа использован гипсометрический метод [2].

Тестирование разработанной модели ССВ осуществлялось на примере горного массива Кондёр (Хабаровский край, Российская Федерация) и горы Фудзияма (Япония).

Проведённое моделирование на контрольной серии из 5000 экспериментов подтвердило работоспособность реализованных алгоритмов, адекватность полученных результатов и высокую степень информативности формируемых 3D-моделей географических объектов. Также установлено соответствие генерируемых кадров требованиям документа Р-315 [3].

Список литературы

Дяченко, С. А. Разработка модели системы синтетического видения для перспективных гражданских самолётов [Электронный ресурс] // Электрон. журн. «Труды МАИ». – М.: МАИ, 2018. – № 99. – Режим доступа: <http://trudymai.ru/published.php?ID=91966>, свободный.

Кучерявый, А. А. Авионика [Текст]: учеб. пособие. – СПб: Лань, 2016. – 452 с.: ил.

Wiesemann, T. Adaptive surface meshing and multi-resolution terrain depiction for SVS [Text] / J. Schiefele, W. Kubbat // SPIE Proceedings: Enhanced and Synthetic Vision. – The USA: Orlando, 2001. – Vol. 4363. – p. 112-123.

Руководство по минимальным стандартам характеристик авиационных систем улучшенного видения, искусственного видения, комбинированных

систем искусственного видения и бортовых систем увеличения дальности видения [Текст]: Р-315. – М.: АР МАК, 2011. – 86 с.: ил.

ЗАДАЧА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ МИКРОЭНЕРГОСИСТЕМОЙ

Multi-Objective Optimization for Control Tasks of Agent-Based Microgrid

А.К. Абд Эльрахим, В.А. Шихин

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

А.К. Абд Эльрахим – аспирант каф. управления и информатики,
научный руководитель доцент В.А. Шихин

Предлагается подход для решения задачи многокритериальной оптимизации при управлении микроэнергосистемой, представленной в виде мультиагентной системы (МАС). В качестве типовых критериев были рассмотрены технические, экономические и экологические критерии. В работе введено унифицированное представление агентов, применимое к классу динамических систем формализуемых в виде непрерывных, дискретных и дискретно-событийных моделей.

Мультиагентная форма представления многокомпонентных динамических систем находит все большее применение в последние годы [1], в том числе для исследования микроэнергосистем [2], позволяя создавать иерархические системы управления на основе распределения функций управления между автономными и кооперативными агентами, реализуя такие важные характеристики как модульность, гибкость, надежность, реконфигурируемость и т.п. Применение МАС-технологии в приложении к рассмотрению микроэнергосистем позволяет в том числе, по-новому подойти к решению задачи создания систем с комбинированным централизованным и децентрализованным управлением.

Микрогрид может быть охарактеризована как нелинейная непрерывно-дискретно-событийная система с переменными слабо-предсказуемыми параметрами и перекрестными связями. Проведение аналитических исследований таких систем крайне затруднительно и возможно только при существенных упрощениях, которые, как правило, не допустимы по соображениям потери важной информации. Задача нахождения эффективных подходов для решения задачи многокритериальной оптимизации микроэнергосистем является актуальной проблемой.

Важным фактором определяющим формат решения задач оптимизации функционирования микроэнергосистем является необходимость следования нормам международного стандарта по интеграции систем управления предприятием ГОСТ Р МЭК

62264-1-2010 «Интеграция систем управления предприятием» [3].

Решение оптимизационных задач, связанных с многоцелевым управлением, тем более при наличии противоречивых критериев и неравновесным распределением критериев между разнородными субъектами динамической системы, можно связать с мультиагентным представлением исходной системы и предложить эффективные методы решения по оптимизации ее функционирования. Одной из задач при многокритериальной оптимизации путем свертки целевых функций является определение приоритетов целей, т.е. как определить весовые коэффициенты. Данная задача может решаться посредством привлечения экспертов и экспертных знаний. В одном случае эксперт «вес критерия» определяет вкладывая свой собственный субъективный смысл. В другом случае, при определении значений весовых коэффициентов на основе нечеткой логики [4], используются комбинация экспертных знаний. Например в [5], для этого вводится понятие нечеткого эволюционного подхода, который и применяется в настоящей работе.

К формулированию оптимизационных задач связанных с повышением эффективности микроэнергосистемы в МАС-представлении предлагается использовать подход на основе нечеткой логики с введением отдельного рассмотрения отдельных групповых показателей экономической, технологической и экологической эффективности как отдельных агентов, так и системы в целом.

Список литературы

P. Leita, V. Marik, P. Vrba. "Past present and future of industrial agent applications", IEEE Trans. Ind. Informat., vol. 9, no. 4, pp. 2360-2372, Nov. 2013.
McArthur, S.D.J.; Davidson, E.M.; Catterson, V.M.; Dimeas, A.L.; Hatziaegyriou, N.D.; Ponci, F.; Funabashi, T. Multi-agent systems for power engineering applications – part 1 : Concepts, approaches and technical challenges. In: IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 22, No. 4, 11.2007, p. 1743-1752.

ГОСТ Р МЭК 62264-1-2014 «Интеграция систем управления предприятием. Часть 1. Модели и терминология». – М.: Стандартинформ, 2016.

M. Sakawa, *Fuzzy multiobjective and multilevel optimization*, in: M. Ehrgott, X. Gandibleux (Eds.), *Multiple Criteria Optimization – State of the art annotated*

bibliographic surveys, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002, pp. 171–226.

I. Kacem, S. Hammadi, P. Borne. *Pareto-optimality approach for flexible job-shop scheduling problems: Hybridization of evolutionary algorithms and fuzzy logic Mathematics and Computers in Simulation*, 60 (2002), pp. 245-276.

СИСТЕМА ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О ПАРАМЕТРАХ ДВИЖЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ, ПОЛУЧЕННОЙ ПО ЦИФРОВОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

System for Reception and Processing of Information about Satellite Movement Parameters Acquired Through a DataLink

В.А. Лубенец, А.С. Холоднов, Б.В. Кошелев

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

В.А. Лубенец – студент кафедры «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации»,

А.С. Холоднов – начальник лаборатории АО «Концерн «Автоматика»
научный руководитель – доцент Б.В. Кошелев

В работе представлены результаты разработки модернизированной системы приема, обработки и шифрования информации (СПОИ) о параметрах движения навигационных спутников Земли, предназначенной для последующей передачи данных по защищенному каналу связи зарегистрированным пользователям. Приведены структура и схемотехнические решения основных электронных блоков и схем СПОИ на отечественной элементной базе. Разработанное программно-алгоритмическое обеспечение по результатам моделирования подтвердило корректную работу СПОИ в целом.

В настоящее время наряду с общедоступными службами глобальной спутниковой навигационной системой (ГНСС) появились и интенсивно развиваются коммерческие и специальные службы (например, DifferentialGPS, AssistedGPS, Precise Point Positioning и др.), предоставляющие эфемеридные и другие данные космического сегмента ГНСС для ограниченного круга лиц в зашифрованном виде по защищенным каналам линий передачи цифровых данных [1-3].

В настоящем докладе представлены результаты разработки модернизированной версии системы приема и первичной обработки информации (СПОИ) с использованием волоконно-оптической связи и отечественной элементной базы, предназначенной для обработки и шифрования эфемеридных данных от навигационных искусственных спутников Земли (НИСЗ), с целью их защиты от несанкционированного доступа и передачи на навигационные приемники зарегистрированных потребителей. В работе описано конструктивное исполнение СПОИ, ее основные электронные узлы и обоснован выбор основных базовых элементов для реализации

СПОИ. Разработаны электрические схемы оптоволоконных каналов приема, передачи и шифрования данных и командно-программного канала, состоящие, в основном, из отечественной элементной базы, в частности, ПЛИС 5576XC1T, что позволяет увеличить скорость обработки принимаемых от базовой станции данных о параметрах движения НИСЗ и значительно повышает качество функционирования системы в целом, благодаря программной оптимизации приема и обработки данных.

Приведены характеристики информационно-логического и физического сопряжения СПОИ с аппаратурой из состава базовой приемной станции. Представлены структура и основные блоки СПОИ. Разработано программно-алгоритмическое обеспечение СПОИ в части создания алгоритмов первичной обработки целевой и командно-программной информации в оптических и асинхронных приемо-передающих каналах, а также структурных схем приемников и передатчиков с использованием ПЛИС 5576XC1T. Это позволяет организовать новый качественный уровень работы СПОИ в приеме/обработке/шифровании/передачи высокоскоростной эфемеридной информации.

Проведенная на моделирующем стенде имитация процесса приема, обработки, шифрования и передачи данных, показала корректное функционирование как разработанного программно-алгоритмического обеспечения схем первичной обработки информации, так и корректность работы основных блоков СПОИ.

Все результаты разработки, представленные в работе, будут использованы в практической деятельности АО «Концерн «Автоматика» при

создании модернизированной версии СПОИ, которая уже находится в опытном производстве.

Список литературы

Громаков Ю. А., Северин А. В., Шевцов В. А.

«Технологии определения местоположения в GSM и UMTS». – М.: «Эко Трендз», 2005. – Р. 99. – 144 р.

A-GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS. Artech House, 2009.

Nav® GNSS Correction Services Precise Point Positioning (PPP) correction technology, 2018

ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГРАММНЫХ СТРАТЕГИЙ СБЛИЖЕНИЯ-УКЛОНЕНИЯ ГРУППЫ ИЗ ДВУХ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ В КОНФЛИКТНОЙ СИТУАЦИИ

About one task of construction of program strategies of rapprochement – evasion of group of two autonomous mobile robots in the disputed situation

А.А. Балакин, О.А. Тягунов

МИРЭА Российский технологический университет

А.А. Балакин – магистрант кафедры проблем управления,
научный руководитель – профессор О.А. Тягунов

Рассмотрена постановка и решение задачи построения программных стратегий сближения-уклонения группы из двух автономных мобильных роботов в конфликтной ситуации

Область применения роботов с каждым годом все более и более расширяется. Они активно применяются во многих областях промышленности, в случае радиоактивного и химического заражения, в борьбе с террористами, в условиях боевых действий и космических исследований. Применение роботов позволяет решать задачи поиска и изъятия опасных предметов, выполнять сложные сборочные, сварочные, покрасочные и другие опасные работы при минимальном участии оператора. Поэтому проблеме разработки принципов построения роботов и алгоритмов управления ими посвящено большое число исследований, проводимых как в России, так и за рубежом.

Стало очевидным, что одиночный даже интеллектуальный робот может решать лишь несложные задачи частного порядка или выполнять простые операции. Это обусловлено небольшим радиусом действий, ограниченным бортовым энергоресурсом, небольшим числом выполняемых операций, ограниченным набором исполнительных устройств, невысокой вероятностью выполнения поставленной задачи в экстремальных условиях, связанной с возможностью выхода из строя одиночного робота. Поэтому более эффективным является решение сложных задач одновременно несколькими роботами, т.е. группой роботов. За последние годы в нашей стране и за рубежом были выполнены многочисленные исследования, посвященные решению задач группового управления роботами в условиях неопределенности

В ряде работ отмечено, что наиболее сложной задачей группового управления является задача управления группой роботов в естественной неорганизованной среде (поверхность Земли или других планет, вода, воздух, космос) и, особенно, в усло-

виях организованного противодействия со стороны объектов среды или других групп роботов (борьба двух или более групп). В этих условиях наиболее перспективным является использование существующих методов теории игр. Практические приложения теории игр встречают разнообразные трудности, из которых можно отметить — построение адекватных моделей конфликтных ситуаций, отсутствие математических методов решения целого ряда игр, необходимость использования сложного математического аппарата и большой объем вычислительных работ при решении практических задач.

В докладе рассмотрена задача разработки математической модели задачи программного сближения — уклонения двух автономных мобильных роботов в конфликтной ситуации и построения стратегий сближения — уклонения на основе теории бесконечных антагонистических игр.

Рассмотрим группу из двух автономных мобильных роботов, которые движутся в горизонтальной плоскости. Обозначим одного из них преследователем P , а второго убегающим E . У этих роботов разные задачи — убегающий стремится не допустить сближения с преследователем, а преследователь, наоборот, стремится сблизиться с убегающим. Будем полагать, что каждый из роботов должен двигаться чисто программно без получения текущей информации о противнике.

Дадим точную формулировку задачи программного сближения преследователя P с убегающим E .

Движение P и E происходит на плоскости.

Как преследователь P , так и убегающий E при выборе программы движения располагают информацией о расстоянии R_0 и положении линии PE в начальный момент сближения.

Управлениями для роботов являются скорости V_p

и V_E и углы γ и ϕ , причем P и E движутся равномерно и прямолинейно.

Будем полагать, что $V_P > V_E$ и обозначим через ν отношение скоростей роботов ($\nu = V_E/V_P, \nu < 1$).

Зафиксируем значение ν . В этом случае можно говорить о бесконечной антагонистической непрерывной игре на квадрате. Выражение для функции платы R_{\min} определим как минимальное по времени расстояние между P и E .

Были получены минимаксные и максиминные решения, а для нахождения седловой точки в смешанных стратегиях игроков использовалась модификация итеративного алгоритма Брауна — Робинсон решения матричной антагонистической игры, на основе оригинальной версии программного обеспечения, позволяющего находить решения для матричных антагонистических игр достаточно большой размерности.

РАЗРАБОТКА И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МОДУЛЬНОЙ ПРЕЦЕДЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ ДАННЫХ

Development and improvement efficiency of work modular CBR-system for solving the tasks of data classification

П.Р. Варшавский, Р.В. Алехин, Т.О. Блашонков, И.Е. Мухачева, С.А. Поляков

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Т.О. Блашонков, И.Е. Мухачева, С.А. Поляков – студенты каф. прикладной математики, научный руководитель доцент Варшавский П.Р., консультант ассистент Алехин Р.В.

В работе рассматриваются вопросы, связанные с разработкой модульной системы поиска решения на основе прецедентов, способной выполнять все этапы цикла обучения на основе прецедентов, и её реализацией в виде веб-приложения. Указаны возможности по повышению эффективности прецедентных систем с использованием методов классификации и кластеризации данных. Рассмотрен пример использования разработанной системы для решения задачи классификации данных, взятых из открытого репозитория Калифорнийского университета UCI Machine Learning Repository.

Одним из перспективных методов анализа больших данных является применение машинного обучения – класса методов искусственного интеллекта, характерной чертой которых является не прямое решение задачи, а обучение в процессе применения решений сходных задач.

Рассуждения на основе прецедентов (CBR – Case-Based Reasoning) являются подходом, широко используемым в решении задач машинного обучения. Процесс вывода на основе прецедентов состоит из четырех этапов, образующих цикл рассуждения на основе прецедентов (CBR-цикл): *извлечение; повторное использование; пересмотр и адаптация; сохранение* [1]. В разработанной прецедентной системе (CBR-системе) для представления прецедентов используется как параметрическое представление (прецедент представлен в виде числового вектора), так и структурированное представление прецедентов (прецедент представлен в виде взвешенного и ориентированного графа). База прецедентов (БП) основывается на реляционной модели представления данных и реализуется с использованием СУБД MySQL. В качестве алгоритма извлечения прецедентов из БП был выбран и реализован алгоритм k ближайших соседей (k -NN). Для определения ближайшего прецедента система поддер-

живает следующие метрики: Евклидова метрика, $L1$ (Манхэттенское расстояние), L_∞ (Расстояние Чебышева), Расстояние Минковского. Также в системе был реализован автоподбор метрики при наличии тестовой выборки данных. Система последовательно выполняет алгоритм k -NN, используя приведенные выше метрики, и затем выбирает ту, для которой алгоритм дает наибольшую точность на тестовом наборе данных.

CBR-система может содержать избыточное число прецедентов, что ведет к снижению эффективности работы системы, поэтому существуют различные методы, повышающие эффективность работы CBR-систем, к таким методам относят сокращение количества прецедентов в БП с помощью методов классификации и кластеризации данных [2]. В системе для сокращения прецедентов в БП используются классификация на основе алгоритма k -NN и кластеризация на основе алгоритма k -средних [3].

В результате выполнения работы было создано веб-приложение, реализованное на языке *python* 3.4. с использованием веб-фреймворка *flask* [4]. В разработанном веб-приложении реализованы модули, обеспечивающие все этапы CBR-цикла. Работа реализованной модульной CBR-системы была проверена на примере решения задачи классификации набора данных «Wine Quality», взятого из открытого репозитория UCI Machine Learning Repository и содержащего 4898 экземпляров. В результате загрузки данных из репозитория в CBR-систему была сформирована БП, которая при решении задачи классификации данных на тестовом наборе с использованием алгоритма k -NN (при k равном 7) и Евклидовой метрики, выбранной автоматически, показала точность классификации 62%. После оптимизации работы CBR-системы в исходной БП удалось сократить число прецедентов до 2579 и

получить точность классификации равную 59% при использовании алгоритма классификации k -NN, а при использовании алгоритма кластеризации k -средних удалось сократить число прецедентов до 11 и получить точность классификации равную 60%.

В работе представлены результаты исследований, поддержанные грантами РФФИ (проекты № 17-07-00553-а, № 18-01-00459-а, № 18-29-03088-мк).

Список литературы

Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С. 45-47.

Варшавский П.Р., Ар Кар Мью, Шункевич Д.В. Применение методов классификации и кластеризации для повышения эффективности работы прецедентных систем // Программные продукты и системы, No4, 2017, С. 625-631.

Алехин Р.В., Блашонков Т.О., Мухачева И.Е., Поляков С.А. Реализация модульной СВР-системы для изучения студентами принципов машинного обучения на основе прецедентов // Труды Международной научно-методической конференции. Информатизация инженерного образования. 2018. С.1-4.

Гринберг М. Разработка веб-приложений с использованием Flask на языке Python // пер. с англ. А. Н. Киселева – М: ДМК Пресс, 2014. – 272 с.

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЙ С ГРАФИКОЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ

Graphics applications development for industrial embedded systems

А.О. Волк

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

А.О. Волк – студентка кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем, научный руководитель заведующий лабораторией программных систем А.Ю. Сыщиков

В ходе данного проекта была создана и протестирована демонстрационная версия программного обеспечения, которое позволяет генерировать код по стандарту OpenGL SC для разработки приложений с графикой для промышленных встраиваемых систем. В результате тестирования, разработанное ПО позволило сконструировать из графических примитивов ряд авиационных бортовых приборов, в том числе основной дисплей полета.

Встраиваемые системы обладают рядом особенностей: ограничение потребляемой энергии, строгое время на вычисления, – и при разработке приложений для встраиваемых систем специалист должен учитывать эти ограничения. Визуализация двумерных и трехмерных объектов требует значительных вычислительных затрат, поэтому для программирования приложений с графикой для встраиваемых систем необходимо использовать специальные графические интерфейсы с поддержкой рендеринга на вычислительных ядрах GPU (графического процессора) [1].

Если ведется разработка графики для критически важных систем безопасности, то круг API для разработки графики сильно сужается, для промышленного использования остается два известных стандарта: OpenGL SC и его потомок Vulkan SC [2]. В работе «Особенности разработки приложений с трёхмерной графикой для промышленных встраиваемых систем» я пришла к выводу, что разработка графики с использованием этих стандартов – это

сложный процесс, который выполняется специалистами очень узкого профиля.

Целью моей работы является разработка специального программного обеспечения (ПО), которое позволило бы разработчикам, не знакомым со стандартом OpenGL SC, создавать приложения с графикой, управляя только набором отображаемых графических примитивов.

Созданное в ходе работы ПО должно обеспечить возможность сгенерировать код (по стандарту OpenGL SC) по набору нескольких входных данных: координаты, размеры графического примитива, цветовые свойства (цвет, изображение), характер преобразований над графическим примитивом (перемещение, масштабирование) [3].

Преимущество такого метода разработки в том, что специалисты по работе бортовых систем или другого узкоспециализированного оборудования с изображением графики будут иметь возможность напрямую участвовать в разработке приборов, учитывать все свои знания об особенностях работы конечного продукта.

Важной задачей также является обеспечение постоянной поддержки и обновлений созданного ПО, генерируемый код должен отвечать требованиям современных стандартов, в том числе стандартов для критически важных систем.

По результатам работы была создана демонстрационная версия описанного выше ПО. Проведено тестирование на примерах конструирования авиаци-

онных бортовых приборов, в том числе PFD – основного дисплея полета.

Список литературы

Великодный В. Вычисления на GPU с помощью OpenGL. URL:

<https://velikodniy.github.io/2017/08/14/gpgpu-opengles/> (дата обращения 15.03.2019).

Khronos Group. Khronos Group Releases Vulkan 1.1. URL: <https://www.khronos.org/news/press/khronos-group-releases-vulkan-1-1> (дата обращения 25.03.2019).

Гинсбург Д., Пурномо Б. OpenGL ES 3.0 Руководство разработчика. ДМК, 2015. 430с.

КЛИЕНТ-СЕРВЕРНЫЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Client-server complex for automation of experimental researches of information ergatic systems

Л.А. Белобжеский, Р.Э. Лалаянц

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Р.Э. Лалаянц – студент кафедры 305 «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации», научный руководитель доцент Л.А. Белобжеский

В докладе рассматривается клиент-серверный программный комплекс для автоматизации экспериментальных исследований параметров работы человека-оператора, решающего информационные задачи вынужденного выбора в составе эргатической системы. Комплекс обеспечивает многопользовательскую работу в локальной вычислительной сети большой группы операторов, сохраняя результаты экспериментов и выдавая сравнительные характеристики обработки этих результатов.

Успешность разработки информационных эргатических систем в авиации во многом зависит от наличия экспериментальных данных по работе человека-оператора в таких системах уже на ранней стадии проектирования. Этим определяется актуальность задачи создания специализированных программных комплексов, обеспечивающих автоматизацию экспериментальных исследований большого контингента операторов, несущих значительную информационную нагрузку при работе в эргатических системах.

Рассматриваемый в докладе клиент-серверный комплекс предназначен для проведения экспериментов, цель которых состоит в исследовании зависимости времени реакции человека-оператора от количества поступающей информации. Комплекс разработан на основе информационных технологий многопользовательских баз данных, что позволяет сохранять и обрабатывать результаты экспериментов, в которых участвует большая группа операторов. Сам комплекс состоит из серверной части и клиентских частей, работающих в локальной вычислительной сети. В экспериментах моделируется вариант штатной работы операторов. Алгоритмы экспериментов заранее подготовлены экспериментатором и включают использование различных вариантов наборов клавиш для ответных реакций. Эти алгоритмы программно реализованы в комплексе, что позволяет автоматизировать проведе-

ние экспериментов и оперативно получать результатов обработки. Входной информацией являются дискретные сигналы, алфавит которых заранее известен.

Возможно проведение экспериментов двух видов: Эксперимент №1 – без ограничения времени предъявления стимулов, алфавит входных сигналов возрастает в заданной последовательности от серии к серии опытов, что соответствует росту количества предъявляемой информации.

Эксперимент №2 – время предъявления стимулов ограничено и уменьшается от одной серии к другой, но при этом алфавит входных сигналов остаётся постоянным. Из-за дефицита времени оператор оказывается не в состоянии полностью воспринимать информацию. В этом случае он будет ошибаться и отвечать неверными реакциями.

Комплекс осуществляет обработку результатов и обеспечен удобным интерфейсом. Все данные о проведенных экспериментах хранятся на стороне сервера.

Клиент-серверный комплекс состоит из трех основных блоков:

Первый блок – серверная часть в виде многопользовательской базы данных (БД) под управлением СУБД Microsoft SQL Server 2014, обеспечивающая хранение данных об операторах и автоматическую запись результатов экспериментальных исследований.

Второй блок – клиентское приложение для работы человека-оператора, которое реализовано на языках C# и XAML, установлено на многие компьютеры сети и обеспечивает выбор условий эксперимента, автоматическое проведение эксперимента с оценкой действий человека-оператора, регистрацию экспериментальных данных и обработку результатов эксперимента.

Третий блок – клиентское приложение для работы администратора, которое реализовано на языках C#

и T-SQL, установлено на одном компьютере администратора и позволяет отбирать операторов по заданным характеристикам, а также позволяет производить очистку сетевой базы данных от устаревших данных.

Для обеспечения надежности и безопасности разработанного клиент-серверного комплекса были использованы следующие средства:
кластеризация серверов,

резервное копирование базы данных с результатами экспериментов,
репликация базы данных,
разграничение прав пользователей, работающих с комплексом.

Система протестирована в локальной вычислительной сети кафедры 305 МАИ и показала свою эффективность и надежность.

РАЗРЕШЕНИЕ ЦЕЛОЧИСЛЕННОЙ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ ФАЗОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В МУЛЬТИАНТЕННОЙ ГИРОСПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ОГРАНИЧЕННОЙ ВИДИМОСТИ СПУТНИКОВ

Phase measurements ambiguity resolution in multi-antenna gyro-satellite navigation system with limited satellite visibility

М.В. Жарков, Р.В. Жарков

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Рассматривается новый подход к разрешению целочисленной неоднозначности фазовых измерений в мультиантенной гироспутниковой навигационной системе при ограниченной видимости спутников. Приводятся результаты имитационного моделирования.

Идея определения параметров ориентации (углов курса, тангажа и крена) с использованием спутниковых навигационных систем (СНС) основана на том, что, измеряя разность дальностей от навигационных спутников до, в простейшем случае, двух антенн, установленных на объекте, можно судить об угловом положении линии, соединяющей антенны и по устоявшейся терминологии называемой базовой линией или базой. Так как длина базы значительно меньше расстояний от антенн до спутников при решении задачи ориентации можно использовать интерферометрическую модель измерений, то есть считать вектор, направленный от одной антенны к спутнику, параллельным вектору, направленному от другой антенны к тому же спутнику. В этом случае разность дальностей между антеннами и будет равна скалярному произведению вектора, лежащего между антеннами, и единичного вектора, направленного от антенной базы к спутнику.

Выполнив измерения дальностей и располагая информацией о проекциях вектора, направленного на спутник, в системе координат связанной с Землей (вычисляются на основе данных о координатах любой из антенн, полученных в результате обработки кодовых измерений, и эфемерид) и вектора-базы в системе координат связанной с объектом, можно вычислить параметры ориентации. Например, с использованием метода векторного согласования.

Для выполнения измерений дальностей с удовлетворительной для решения задачи ориентации точностью необходимо использовать измерения фазы несущей спутниковых сигналов. Построение разности дальностей до спутника, измеренных с исполь-

зованием разнесенных в пространстве антенн, позволяет снизить до пренебрежимых значений большинство погрешностей фазовых измерений кроме погрешностей часов приемников и целочисленной неоднозначности. Погрешность часов приемников исключается, например, с использованием вторых разностей дальностей.

Ключевой задачей при разработке спутниковой системы определения параметров ориентации является устранение целочисленной неоднозначности фазовых измерений. Причем необходимость решения этой задачи возникает как на первой эпохе измерений, так и после потери слежения за фазой, так называемого, проскальзывания цикла (cycle slip). Наибольшее распространение на сегодняшний день получили, методы, относящиеся к классу использующих избыточное число спутников, называемые также переборными методами. Опыт эксплуатации спутниковых систем определения параметров ориентации выявил наличие существенного недостатка. В условиях, когда избыточность спутников недостаточна, разрешение неоднозначности либо вообще невозможно, либо занимает слишком долгое время для большинства практических применений. Устранение указанного недостатка возможно за счет использования дополнительной информации о параметрах движения от неспутниковых систем. В работе [1] предложен вариант создания мультиантенной гироспутниковой навигационной системы. Разрешение неоднозначности достигается за счет одновременной оценки начальных (на первую эпоху измерений) параметров ориентации и вектора целочисленных неоднозначностей (сохраняет постоянное значение при отсутствии проскальзывания цикла) по измерениям абсолютной угловой скорости, вырабатываемой гироскопами, и неоднозначным фазовым измерениям СНС. Очевидно, что обязательным условием для использования такого

метода разрешения неоднозначности является вращения объекта.

В работе приводятся результаты исследования возможностей применения нового метода разрешения целочисленной неоднозначности фазовых измерений в составе гироспутниковых систем различного класса и при различных внешних условиях (видимость навигационных спутников и динамика основания).

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ 19-08-01223-а.

Список литературы

1. M.V. Zharkov, K.K. Veremeenko, D.A. Antonov, and I. M. Kuznetsov Attitude Determination Using Ambiguous GNSS Phase Measurements and Absolute Angular Rate Measurements // *Gyroscopy and Navigation*, 2018, Vol. 9, No. 4, pp. 275–283. ISSN 2075-1087

АСИНХРОННЫЕ АВТОМАТНЫЕ СХЕМЫ

Asynchronous Automatic Schemes

Г.А. Калинина, Ю.Е. Мороховец

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

В докладе рассматривается модель распределенной обработки данных, основанная на понятии асинхронной автоматной схемы. Эти схемы могут служить адекватным модельным представлением распределенных программных систем, применяемых, например, для непрерывной обработки данных в сложных организационно-технических комплексах.

В [1] предложена модель распределенной обработки данных, основанная на понятии асинхронной автоматной схемы.

Асинхронная автоматная схема $a \in A$, определяется как структура вида $a = \langle B, P, \Sigma, \text{xb}, \text{yb} \rangle$, где B – множество буферизированных каналов связи; P, Σ – множество автоматных компонентов и их шаблонов;

xb, yb – структурообразующие соответствия, однозначно связывающие входы и выходы автоматных компонентов с каналами схемы.

Канал $b \in B$ характеризуется типом τ и размером буфера size . Для канала b типа τ объединение $Q(b) = (D(\tau))^0 \cup (D(\tau))^1 \cup \dots \cup (D(\tau))^{\text{size}}$, где $D(\tau)$ – множество сообщений типа τ , является множеством его возможных состояний.

Автоматный компонент $p \in P$ характеризуется шаблоном σ , задающим его структуру и функционирование. Шаблон компонента определяется как элемент конечного множества базисных шаблонов схемы

$\Sigma: \sigma = \langle X, Y, M, S, F, \theta \rangle$. Здесь X, Y – множества шаблонных входов и выходов компонента; M – множество шаблонных состояний его внутренней памяти; S – множество шаблонных собственных состояний компонента; F – множество ветвей обработки данных, реализуемых компонентом; θ – функция выбора ветви обработки данных, имеющая вид $\theta: S \times U \rightarrow F$, где $U \subseteq \{0, 1\}^{\text{nof}(X)}$ – множество возможных двоичных ситуаций на входах компонента. Произвольная ветвь $f \in F$ задается посредством структуры $f = \langle f_y, f_m, f_s \rangle$, где f_y – функция выходов; f_m – функция состояния внутренней памяти; f_s – функция собственного состояния автоматного компонента.

Множество реальных входов компонента $p \in P$ в схеме a обозначается через X , $X = \langle p, \sigma(p).X \rangle$, множество реальных выходов – через Y , $Y = \langle p, \sigma(p).Y \rangle$. Множества реальных входов и выходов всех компонентов схемы обозначаются через X^* и Y^* . Соответствия xb, yb , устанавливающие связь входов и выходов компонентов с каналами схемы, имеют вид $\text{xb}: X^* \rightarrow B$, $\text{yb}: Y^* \rightarrow B$, причем для любого входа $x_j \in X^*$ $\tau(x_j) = \tau(\text{xb}(x_j))$, $y_k \in Y^*$ $\tau(y_k) = \tau(\text{yb}(y_k))$, где $\tau(x_j), \tau(y_j)$ – типы входа и выхода.

Для определения функционирования схемы рассматривается функционирование ее произвольного компонента $p \in P$, имеющего шаблон σ . Пусть $u \in U$ – вектор ситуации на входах автоматного компонента. Условием перехода компонента, находящегося в состоянии s , в следующее состояние s' является требование $u \in \text{dom}_s \theta$, где $\text{dom}_s \theta$ – сечение области определения функции θ в точке $s \in S$, $S = \langle p, \sigma(p).S \rangle$. Если это условие истинно, компонент выполняет ветвь $f = \theta(s, u)$. Выполнение ветви переводит в новые состояния буферы незамаскированных входных и выходных каналов связи, а также внутреннюю память компонента, при этом сам автоматный компонент переходит в следующее состояние s' .

Функционирование схемы складывается из независимого, в смысле отсутствия централизованного управления, функционирования автоматных компонентов, обменивающихся сообщениями через связывающие их каналы с буферами ограниченного размера.

Асинхронные автоматные схемы могут служить адекватным модельным представлением распределенных программных систем, применяемых, например, для непрерывной обработки данных в сложных организационно-технических комплексах [2, 3].

Список литературы

1. Калинина Г.А., Мороховец Ю.Е. Модель асинхронной автоматной обработки данных. // *Вестник МЭИ*, № 5, 2008. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – С. 57-61

2. Калинина Г.А., Мороховец Ю.Е., Шполянский М.И. Базовая модель и архитектура виртуальной многомашиной вычислительной системы / Труды XX Международной научно-технической конференции «Информационные средства и технологии», Москва. Том 3. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012 – С. 123-128.

3. Калинина Г.А., Мороховец Ю.Е. Модели асинхронной передачи сообщений и многомашиные системы обработки данных. //Сборник трудов XXV МНТК "Современные технологии в задачах управления, автоматике и обработки информации" (Алушта, 14-20 сентября 2016 г.) – М.: Технология, 2016. – С. 140-141.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ РОБОТОМ

The control system of the transport robot

Е.А. Климова, М.С. Комарова, Р.Н. Исянов

Пензенский государственный университет

Е.А. Климова, М.С. Комарова – студентки 4-го курса каф. «Автоматика и телемеханика», научный руководитель к.т.н., доцент Р.Н. Исянов

В данной работе представлена разработка микро-процессорной системы управления транспортным роботом, и разработка лазерного метода ориентирования

Среди всех существующих роботов особое место отводится мобильным роботам. За последние годы интерес к ним возрос в несколько раз и продолжает расти. Это прежде всего объясняется развитием исследований в области теории распознавания образов, искусственного интеллекта, а также всевозможных датчиков «очувствления» роботов. Алгоритм автоматического управления робота может быть представлен в следующем виде:

- задание начальных условий – цели функционирования (угла);
- автоматическая отработка угла, поворот дальномера и нахождение заданной цели;
- измерение расстояния до цели при помощи лазерного дальномера;
- возврат дальномера на угол отклонения, измеренный при помощи потенциометра.
- поворот платформы робота на заданный угол;
- отработка измеренного расстояния роботом.

Причем каждые 0.5 сек. робот сравнивает пройденное расстояние с расчетным, если сравниваемые значения различаются больше определенного Δ , робот производит корректировку угла с помощью потенциометра, находит первоначальную цель, продолжает движение до достижения цели с некоторой запланированной погрешностью.

В данном алгоритме рассмотрены две возможные ситуации функционирования:

Робот достигает цели без корректировки угла (идеальный случай функционирования);

Происходит отклонение во время движения от цели на некоторый угол из-за проскальзывания гусениц, неточности изготовления редукторов; робот производит корректировку угла, доезжает до цели.

Но возможна еще одна ситуация: на пути робота появляется препятствие, тогда кроме основного

алгоритма управления роботу необходимо будет принятие дополнительных действий: определить оптимальное направление объезда препятствия; произвести коррекцию угла, отклонится на вычисленный угол; проехать на вычисленное расстояние; развернуться на расчетный угол до цели; измерить расстояние; продолжить движение.

В данной ситуации робот производит коррекцию по отклонению при обходе препятствия, и второй раз отклоняется на уже рассчитанный угол. Коррекция при обходе препятствия происходит за счет того, что при движении робот ориентируется как по декартовой, так и по полярной системе координат.

Измерение расстояния до препятствий и цели робот производит в полярных координатах. Полярная система координат идеально подходит для математического описания разрабатываемой системы управления: так как роль задания радиуса – вектора (в полярной системе координат) здесь играет дальномер, угла отклонения – потенциометр. Декартовая система координат необходима для позиционирования робота, а также с ее помощью нет необходимости в применении сложной логики расчета расстояния до цели с учетом изменения маршрута следования.

При первом измерении расстояние робот вычисляет x , y по формулам:

$$\begin{aligned}x &= r1 \cdot \cos \alpha, \\y &= r1 \cdot \sin \alpha.\end{aligned}$$

где $r1$ – измеренное расстояние до цели.

При встрече препятствия он запоминает координаты и просчитывает необходимое расстояние обхода (радиус вектор) $r4$. При расчете расстояния обхода необходимо учесть некоторый запас для того, чтобы луч дальномера смог беспрепятственно отыскать цель, поэтому расстояние обхода целесообразно увеличить на длину платформы робота. После отработки расстояния обхода вновь вычисляются декартовы координаты $X2$ и $Y2$, находится длина пройденного отрезка L по формуле:

$$L = \sqrt{(x_0 - x_2)^2 + (y_0 - y_2)^2},$$

По расчетным значениям декартовых координат находится новый угол до цели. Также с помощью декартовых координат вычисляется расстояние, пройденное роботом по одной из осей, то есть путь вычисляется по прямой линии, вместо истинной ломаной линии пути.

Список литературы

Конструирование роботов / Пер. с франц./ П. Андре, Ж.-М. Кофман, Ф. Лот, Ж.-П.-М. Тайар: Мир, 2016.-360 с.

Терехов В.М. Непрерывные и цифровые системы управления скоростью и положением электроприводов. – М.: Изд-во МЭИ, 2012. – 768с.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРВАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Applying an Interval Criterion for Testing Complex Objects

К.С. Куликова, Нэй Мью Чжо, А.А. Лупачев

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

К.С. Куликова – студентка, Нэй Мью Чжо – аспирант каф. информационно-измерительной техники, научный руководитель доцент А.А. Лупачев

В данной статье рассматриваются критерий интервального вида окончания переходного процесса в измерительной цепи в режиме on-line. Найдено новое выражение для критической постоянной критерия, которое уточняет связь между допускаемым приращением по критерию и результирующей динамической погрешностью анализа процесса.

В докладе описывается стандартизированный интервальный критерий окончания переходного процесса (ПП) в измерительной цепи (ИЦ), используемый при различных видах испытаний сложных объектов, таких как испытания теплопроводности, военной и космической техники.

Общей чертой таких испытаний является то, что в ходе исследований могут уточняться требования к измерительной процедуре [1], в том числе и к динамической погрешностью первого рода, по которой определяется момент T_{YS} завершения ПП. Определение длительности ПП, т.е. наступления установившегося значения A_{∞} , является актуальной задачей для многих отраслей знаний и продолжает рассматриваться в современных научных публикациях [2].

В практике динамических измерений (ДИ) важную роль имеет модель ИЦ в виде переходной характеристики $h(t)$ представленной суммой экспонент.

Классический критерий $T_{YS} \geq \tau \ln(1/\delta_D)$ можно охарактеризовать как объективный, где параметром является относительная допускаемая динамическая погрешность δ_D . Критерий задан в относительной форме при наличии априорной информации о динамических свойствах ИЦ в виде звена 1-го порядка, где τ – постоянная времени звена.

Критерий интервального вида (КИВ) использует текущую информацию о допустимом приращении δ_{CR} переходного сигнала в измерительной цепи на

заданном интервале наблюдения (ИН) ΔT_H . Положительное (удовлетворительное) решение КИВ соответствует наступлению ситуации:

$\delta f(t_K) \leq \delta_{CR}$, где t_K – момент окончания ИН за ПП.

Анализ интервального критерия показал, что существует ограничение на его применение. Это ограничение носит название «Критическая постоянная критерия». Причина этому значительная динамическая ошибка в определении времени и уровня завершения переходного процесса.

Расположение ИН вне зоны допускаемых динамических погрешностей иллюстрирует тот факт, что выполнение условий КИВ не гарантирует достижения на этом интервале сигнала ПП установившегося значения с требуемой по умолчанию погрешностью δ_D . Необходимо отметить, что КИВ не устанавливает связи между δ_D и δ_{CR} , то есть не определяет, с какой динамической погрешностью первого рода определяется момент T_{YS} ПП в режиме on-line.

Данная связь находится в данной работе через новое уточнённое значение критической постоянной критерия и имеет следующий вид:

$$\tau_{CR} = \Delta T_H / \ln[(1 + \delta_{CR} / \delta_D) / (1 + \delta_{CR})].$$

Найденная зависимость позволяет повысить эффективность использования КИВ для неопределённо широкого диапазона возможных значений параметра τ модели ИЦ, путём управления длительностью интервала наблюдения критерия, например, для встраивания этого критерия в процесс управления диффузионным потоком в термодинамических датчиках горючих газов в кислородной среде [3].

Список литературы

A. Chunovkina. Models of measurement uncertainty optimization in decision-making on the basis of meas-

urement results. // *Proceedings of 28-th National Scientific Symposium with international participation "METROLOGY and METROLOGY ASSURANCE 2018"*, September 10-14, 2018. *Sozopol, Bulgaria*. -pp. 31-34.

Карелин А.П. Разработка эксплозиметра для контроля интегральной взрывоопасности атмосферы [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд.

техн. наук / Карелин Алексей Павлович. — М.: МАИ, 2016. — 138 с.

Григорьев С.Н., Карпова Е.Е., Ошурко В.Б. Управление диффузионным потоком в термокаталитических сенсорах горючих газов. // *Измерительная техника* №5, 2014. - С. 41-44.

МЕТОД И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО ВОДЯНОГО ЗНАКА

Method and means for information protection based on digital watermark

Н.В. Малышева, Р.Н. Исянов

Пензенский государственный университет

Н.В. Малышева – студентка 4-го курса каф. «Автоматика и телемеханика»,
научный руководитель к.т.н., доцент Р.Н. Исянов

В данной работе представлен метод и алгоритм позволяющие гарантировать целостность информации, внедренной в изображение-контейнер, при воздействии сжатия JPEG-2000 с потерями

Стеганография – метод организации связи, который собственно скрывает само наличие связи /1, 2/. В отличие от криптографии, где неприятель точно может определить является ли передаваемое сообщение зашифрованным текстом, методы стеганографии позволяют встраивать секретные сообщения в безобидные послания таким образом, чтобы невозможно было заподозрить существование встроенного послания. В настоящее время появились новые стеганографические методы, в основе которых лежат особенности представления информации в компьютерных файлах, вычислительных сетях и т.п., что дало возможность говорить о становлении нового направления стеганографии – компьютерной стеганографии. Более того, из цифровой стеганографии вышло наиболее востребованное сегодня направление – встраивание цифровых водяных знаков, являющееся основой для систем защиты авторских прав. Методы этого направления настроены на встраивание скрытых маркеров, устойчивых к различным преобразованиям контейнера (мультимедийного объекта).

Как известно [3, 4] 24-битное изображение формата JPEG или BMP имеет RGB-кодировку. Общую схему восприятия человеком цветности можно схематически описать так:

- R(красный): человеческий глаз улавливает 7 бит из 8;
- G(зеленый): человеческий глаз улавливает 8 бит из 8;
- B(синий): человеческий глаз улавливает 4 бита из 8.

Иначе говоря, наименьшая восприимчивость человека к синему цвету позволяет встраивать кодированную информацию в область синего цвета.

Как правило, алгоритм передачи одного бита секретной информации строится по следующему принципу.

Пусть S_i – встраиваемый бит, $I = \{R,G,B\}$ – контейнер, $p = (x, y)$ – позиция, на которой выполняется вложение. Секретный бит встраивается в канал синего цвета путем модификации яркости с помощью q -константы, определяющей энергию встраиваемого сигнала: чем больше значение q , тем выше робастность вложения, но тем сильнее его заметность. Извлечение бита получателем осуществляется без наличия исходного изображения. Для этого выполняется предсказание значения исходного, немодифицированного пиксела на основании значений его соседей. Для получения оценки пиксела используются значения 2 пикселей, расположенных справа и слева от оцениваемого в той же строке. При использовании исходного файла значение встроенного бита определяется знаком разности значений для закодированного и незакодированного изображения. Наиболее устойчивые варианты водяных знаков сохраняются даже при преобразовании цифрового сигнала в аналоговый и обратно.

Сначала в источник S внедряются водяные знаки, после чего источник передаётся по каналу связи. Поскольку у полученного сигнала SEA водяные знаки могут быть потенциально уничтожены или изменены, на этапе получения информации функция обнаружения D пытается обнаружить водяные знаки w , а функция R – «вытащить» из сигнала внедрённое сообщение.

Любые затраченные усилия на внедрение, атаку, детектирование или расшифровку измеряются сложностью. За $C(E,S)$ обозначим сложность про-

цесса внедрения информации в объект S . В зависимости от реализации функция C измеряет затрачиваемое время количество операций ввода-вывода, количество строк кода и т.д. Поскольку сложность зависит от исходного S , часто рассматривается нормированная функция C , не зависящая от S .

Список литературы

1. Артёзин Б.В. *Стеганография // Журнал «Защита информации. Конфидент»*. – 1996. – № 4. – С.47–50.
2. Хорошко В.О. *Основы компьютерной стеганографии: Учебное пособие для студентов и аспирантов*. - Винница: ВДТУ, 2003. – 143 с.
3. Васюра А.С. *Детектирование скрытого содержания в сжатых фрактальным алгоритмом изобра-*

ражениях // Информационные технологии и компьютерная инженерия. - Винница, 2008. – № 3. 1–10.

4. Грибунин В.Г. *Цифровая стеганография / Грибунин В.Г., Оконов И.Н., Туринцев И.В.* – М.: Солон-Пресс, 2002.- 272 с.

5. Конахович Г.Ф. *Компьютерная стеганография / Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю.* – М.: МК-Пресс, 2006. – 288 с.

6. Барсуков В.С. *Стеганографические технологии защиты документов, авторских прав и информации // Обзор специальной техники*.- 2000. – №2. 31–40.

7. Быков Ф. *Алгоритм сжатия JPEG с позиций компьютерной стеганографии // Защита информации. Конфидент*.– 2000.– № 3.

О НЕКОТОРЫХ ПОДХОДАХ К ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОДЛИННОСТИ ЗАЩИЩЁННОЙ ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ ПОСРЕДСТВОМ АНАЛИЗА ФОТОИЗОБРАЖЕНИЙ

On some identification approaches for security printing products through analysis of photo images

И.Н. Завольский

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

И.Н. Завольский – аспирант каф. «Системы автоматического и интеллектуального управления»,

научный руководитель к.т.н., старший научный сотрудник В.Б. Чемоданов

Работа посвящена исследованиям в области идентификации подлинности банкнот на основе компьютерной обработки фотоснимков, выполненных смартфоном. Выполнен краткий обзор работ по этой тематике и проблем, возникающих при решении указанной задачи. Предпринята попытка преодоления ряда указанных проблем путем применения дискретного преобразования Фурье (ДПФ) к характерным областям изображения банкноты. Рассмотрены три подхода к определению подлинности купюр на основе ДПФ и дан их сравнительный анализ.

Задача определения подлинности защищенной полиграфической продукции и в первую очередь – бумажных денег существует с давних времен. Современные достижения в области цветной цифровой печати привели к тому, что копию банкноты, выполненную с высоким качеством печати, на взгляд трудно отличить от подлинника. С другой стороны, появление и широкое распространение смартфонов с фотокамерами довольно высокого разрешения с ПЗС-матрицами порядка 10–12 Мпкс поставили вопрос о возможности распознавания подлинности денежных купюр путем компьютерного анализа снимка смартфона. Данному научно-технологическому направлению не более 10 лет. К настоящему времени во всем мире разработано всего лишь несколько мобильных приложений для смартфонов, в которых реализуется рассматриваемая технология. Разумеется, предложенный подход ни в коей мере не отрицает и других применяемых

на практике способов идентификации подлинности, а лишь дополняет их. Помимо этого, разработка программно-алгоритмических средств нахождения различий в цифровых фотографиях совокупности крайне схожих между собой объектов актуально в отношении развития теории и совершенствования технологии распознавания образов.

Вместе с тем при практической реализации описанного подхода на различных смартфонах обнаружилась сильная зависимость получаемых результатов от условий съемки и особенностей камеры конкретного мобильного устройства. Одна из проблем состоит в том, что применительно к микроструктуре цифрового изображения банкноты практически невозможно получить два одинаковых фотоснимка. Другая проблема состоит в том, что разрешающая способность камеры смартфона по порядку величины близка к разрешающей способности доступных устройств цифровой печати. Это существенно усложняет задачу идентификации различий между подлинником и копией при наличии внешних и внутренних помех. Экспериментально установлено, что в число последних входит даже мерцание потолочных ламп дневного света. Вполне очевидно, что если разрешающая способность камеры смартфона существенно хуже разрешающей способности устройства для печати копий, то отличить с его помощью подлинник от копии становится принципиально невозможным.

Таким образом, в рамках рассматриваемой технологии актуальной задачей становится повышение робастности программно-алгоритмических средств идентификации подлинности банкнот. Разработаны и представлены методы анализа качества печати: представлен метод обнаружения размытости периодической структуры через анализ Фурье-образа соответствующих областей; представлен метод анализа цветовых и графических характеристик граничных переходов внутри периодических сетчатых узоров, метод определения степени соответствия структур.

Список литературы

1. Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений*. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
2. Лепский А.Е., Броневиц А.Г. *Математические методы распознавания образов*. Таганрог: Издательство ТТИ ЮФУ, 2009. 155 с.

3. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Бондаренко А.В. и др. *Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения*. М.: Физматкнига, 2010. 672 с.
4. Флах П. *Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных*. М.: ДМК Пресс, 2015. 400 с.
5. Яне Б. *Цифровая обработка изображений*. М.: Техносфера, 2007. 584 с.
6. Вьюгин В. В. *Математические основы теории машинного обучения*. М.: МЦНМО, 2013. 390 с.
7. ГОСТ Р 54109-2010 *Защитные технологии. Продукция полиграфическая защищённая. Общие технические требования*. Введ. 07.01.2011. М.: Стандартинформ: 2011. 18 с.
8. Маресин В.М. *Защищённая полиграфия: справочник*. М.: ФЛИНТА: МГУП им. И. Фёдорова, 2012. 640 с.

КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕГРИРОВАННАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА СУДНА-НОСИТЕЛЯ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Comprehensive integrated navigation system of the autonomous underwater vehicles ship-carrier

Л.А. Колганов

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Колганов Л.А. – студент кафедры 305 «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации», научный руководитель доцент каф.305 к.т.н Д.А. Антонов

В работе приводится обзор существующих требований, обобщенные методики гидрографической съёмки. Сформирован критерий оценки достоверности проведения гидрографических работ, а также аппаратная и алгоритмическая структура комплексной интегрированной навигационной системы судна-носителя. Приведены методики и результаты моделирования работы навигационной системы, входящей в состав гидрографического комплекса.

Обследование дна, выполняемое с целью формирования карты рельефа дна акваторий, в настоящее время является актуальной задачей. В ходе выполнения гидрографической съёмки формируется цифровое представление топографии дна, называемое батиметрической моделью. Подходы к осуществлению гидрографической съёмки можно разделить на 3 класса: использование судна с установленным гидрографическим оборудованием, связки из судна-носителя и одного или нескольких автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) [1] и использование АНПА, как носителя гидрографического оборудования.

В настоящее время, на кафедре 305 «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации» МАИ ведётся разработка навигационной си-

стемы комплекса гидрографической съёмки. В рамках этой работы была поставлена задача оценки возможности обеспечения требований гидрографической съёмки судном-носителем.

Целью работы является исследование возможности обеспечения гидрографической съёмки 1 и 2 категории судном-носителем за счет синтезированного алгоритма комплексной навигационной системы, использующего показания инерциальной и двухантенной спутниковой навигационных систем.

По результатам исследования требований к гидрографической съёмке выяснено, что международной гидрографической организацией устанавливаются требования [2] на суммарную неопределённость измерений, включающую в себя неопределённость оценки положения судна-носителя, ошибки привязки положения гидрографического оборудования к строительным осям судна носителя и ошибки работы гидрографического оборудования.

Для оценки суммарной неопределённости измерений съёмки предложен критерий оценки достоверности проведения гидрографической съёмки. Для обеспечения требований к проведению гидрографической съёмки, в части определения координат,

предложено использовать бесплатформенную инерциальную навигационную систему навигационного класса точности и приёмоизмеритель ГНСС с поддержкой поправок RTK, работающих в режиме комплексной обработки информации [3].

По результатам анализа результатов испытаний выяснено что, предложенная аппаратная и алгоритмическая схемы комплексной интегрированной навигационной системы способны обеспечить требуемый уровень суммарной неопределённости измерений гидрографической съёмки в части определения местоположения судна-носителя.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ 19-08-01223-а.

Список литературы

- Амирагов А.С., Антонов Д.А., Колганов Л.А., Чехов Е.Л., Шавырин И.А. «Повышение эффективности подводных работ, приводимых с помощью автономных необитаемых подводных аппаратов с интегрированными навигационными комплексами» *Новости навигации* 2018 г., г. Москва.
- Международная гидрографическая организация «Стандарты МГО на гидрографические съёмки» 5-е издание, февраль 2008 года Монако 2008 г.
- Помыкаев И.И., Селезнев В.П., Дмитроченко Л.А. «Навигационные приборы и системы учебное пособие для вузов» М.: Машиностроение, 1983.

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ АНАЛИЗА ЛЕТНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ВЫВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Creation of an information support system for the analysis of the flight-technical characteristics of spacecraft launch vehicles

М.А. Фролов, С.В. Полухин, В.В. Бондяшов

АО «Российские космические системы»

М.А. Фролов – начальник центра АО «Российские космические системы»
С.В. Полухин – ведущий инженер-конструктор АО «Российские космические системы»
В.В. Бондяшов – аспирант АО «Российские космические системы»,
научный руководитель О.А. Алексеев

Для эффективного перехода на современный уровень анализа летно-технических характеристик средств выведения космических аппаратов предлагается создать систему информационной поддержки анализа летно-технических характеристик средств выведения космических аппаратов

Система информационной поддержки анализа летно-технических характеристик (СИПА ЛТХ) средств выведения космических аппаратов (КА) - комплекс средств сбора, хранения, предоставления исходных данных для обеспечения пусков ракетоносителей (РН) и разгонных блоков (РБ), послепусковой информации, а также обработки статистических данных и формирования аналитических зависимостей для проведения анализа ЛТХ средств выведения КА.

Для создания системы информационной поддержки анализа, опираясь на опыт применения центра анализа информации (ЦАИ), необходимо провести работы по созданию аппаратно-программных комплексов, разработке баз данных, созданию алгоритмических моделей и соответствующего программного обеспечения по следующим направлениям: систематизация, каталогизация и оперативное предоставление исходных данных и результатов обработки; преобразование хранимых данных к формату метаданных библиотеки знаний, представляющему большие возможности как для обмена между предприятиями Госкорпорации «Роскос-

мос», так и для дальнейшего использования при построении баз данных; создание параметрической базы данных; создание базы вероятных нештатных ситуаций; предоставление аналитического ресурса для решения задач анализа ЛТХ средств выведения КА.

Ключевым понятием нашей аналитической системы является то, что мы представляем РН, РБ или другую космическую систему динамическим массивом данных. Определяя зависимости между данными и создавая аналитические модели представления взаимосвязей между данными в каждом испытании (пуске РН, РБ или др.), можно классифицировать состояние системы, выдавать заключения о правильности функционирования, а при накоплении опыта – переходить и к прогнозированию состояния.

В основе нашей центральной базы данных лежит понятие сущности - это параметр. Концепция нашего хранилища - большое количество параметров, характеризующих космическую систему РН или РБ.

Кроме наполнения базы данных параметрами, необходимо реализовать в БД отношения в виде алгоритма, учитывающего ключевые точки каждого параметра, интервалы времени и порядок обхода данных ключевых точек («сценарий»). Взаимодействие параметров рассматриваем как совокупность разработанных аналитических моделей, реализо-

ванных в приложениях и использующих параметрическую БД как основное хранилище.

Классификация методов анализа позволяет выстраивать стратегии анализа, ориентированные на пользователя, на уровень разбора анализируемой ситуации. Создание мнемосхем, отображающих физические процессы, проходящие в бортовой системе на уровне абстракций, отвечающих принципам когнитивной визуализации.

Список литературы

Л.К. Большаков, А.Б. Вершинин, Интеллектуальный анализ телеметрической информации в контуре наземного комплекса управления.

Н.С. Абрамов, А.А. Талалаев, В.П. Фраленко, Интеллектуальный анализ телеметрической информации для диагностики оборудования космического аппарата.

Назаров А.В., Козырев Г.И., Шитов И.В., Обрученок В.П., Древин А.В., Краскин В.Б., Кудряков С.Г., Петров А.И., Соколов С.М., Якимов В.Л., Лоскутов А.И., Современная телеметрия в теории и на практике.

МОБИЛЬНЫЙ РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС НАЗЕМНОЙ КОЛЁСНОЙ ПЛАТФОРМЫ С БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

Mobile robotized complex of a ground wheeled platform with an unmanned aircraft

А.И. Черноморский, Д.А. Сурков, М.Б. Шумов, Э.Д. Курис

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

А.И. Черноморский, Д.А. Сурков – доценты, Э.Д. Курис – с.н.с. кафедры 305 «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации», Шумов М.Б. - начальник отдела ЦАГИ

Поставлена задача создания роботизированного Комплекса, объединяющего наземную колёсную платформу и беспилотный летательный аппарат. Указана проблематика задач, которые необходимо решить, применительно к использованию Комплекса для послеполётного детектирования поверхностных повреждений воздушного судна.

Рассматривается проблематика решаемых на базе кафедры 305 *Московского авиационного института* задач, возникающих при построении мобильного роботизированного Комплекса на основе автономной наземной колёсной платформы (НКП) и беспилотного летательного аппарата (БПЛА) мультироторной конструкции. Комплекс предназначен для построения 3D-моделей масштабных инженерных объектов, в том числе воздушных судов (ВС), с последующей аналитической оценкой состояния их поверхностей на основе нейросетевых технологий. Аналитические оценки включают детектирование поверхностных конструктивных повреждений и временных изменений объектов. Регулярное использование такого рода технологии создаёт основу для создания полноценного эксплуатационного паспорта объекта, в частности ВС, и позволяет прогнозировать отказы и разрушения, основываясь на накопленном опыте обучаемой нейросети.

Основные задачи, решаемые в процессе работы над Комплексом, заключаются в проработке техниче-

ских решений его элементов, а также алгоритмов обработки информационных потоков в процессе взаимодействия как подсистем Комплекса между собой, так и с его оператором.

Навигационные взаимодействия подсистем сводятся к обмену информацией об их навигационных параметрах и к взаимной корректировке этих параметров, в частности на этапе старта БПЛА с НКП, в период рабочего режима Комплекса (объезд, облёт) при детектировании конструктивных повреждений объектов с фиксацией пространственного расположения повреждений, на этапе посадки БПЛА на НКП.

Поведенческие взаимодействия определяются характером работы подсистем Комплекса, выполняемой в каждый момент времени, и зависят от режимов его работы, а также от таких факторов, как отказы оборудования, погодные условия и команды оператора. Они включают в себя, в частности, процессы относительного позиционирования подсистем, их энергообмена, захвата и крепления БПЛА на площадке НКП.

Дополнительной задачей является изучение возможности построения Комплекса с не полностью автономным БПЛА, связанным с НКП специализированным тросовым механизмом для обеспечения безопасности внутри зон, в которых свободные полёты БПЛА запрещены.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА ФИЛЬТРАЦИИ ДИСКРЕТНОГО МАРКОВСКОГО ПРОЦЕССА, ОПИСЫВАЕМОГО ФОРМИРУЮЩИМ ФИЛЬТРОМ ПОЛИНОМИАЛЬНОГО ТИПА

Efficiency analysis of filtering algorithm of a first-order discrete-time Markov process described by the polynomial shaping filter

В.А. Васильев, О.А. Степанов, В.А. Тупысев

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Университет ИТМО, Санкт-Петербург

Предлагается алгоритм полиномиальной фильтрации в задаче оценивания параметров марковской последовательности, уравнение состояния которого описывается полиномом второго порядка с использованием линейных измерений. Предложенный алгоритм используется в задаче идентификации параметров процессов, описывающих уходы гироскопов. Предложенный алгоритм сопоставляется, с обобщенным фильтром Калмана и алгоритмом, основанным на фильтре частиц, с точки зрения получаемых ошибок оценивания и с точки зрения адекватности расчетных характеристик точности.

При решении задач обработки измерительной, в частности навигационной информации, широко применяются методы нелинейной байесовской фильтрации, направленные на нахождение оптимальных в среднеквадратическом смысле оценок искоемых параметров [1-3]. В случае, когда уравнения, описывающие динамику изменения вектора состояния, и уравнения для измерений линейны, а порождающие шумы и шумы измерений являются гауссовскими, оптимальная оценка может быть найдена с помощью фильтра Калмана (ФК) [2-4]. Если уравнения состояния и/или уравнения измерений нелинейны, для решения задач оценивания применяются различного рода субоптимальные алгоритмы, обеспечивающие точность, близкую к потенциальной (точности оптимального оценивания), и не требующие для своей реализации большого объема вычислений [1-8]. Субоптимальные алгоритмы могут быть построены как за счет приближенного воспроизведения апостериорной плотности, с помощью различных численных методов (основанных, например, на методе Монте-Карло и их различных модификациях) [1-3], так и за счет гауссовской аппроксимации апостериорной плотности (алгоритмы калмановского типа [5-8]). В частности, при наличии нелинейностей в виде полиномов распространение получили алгоритмы так называемой полиномиальной фильтрации [6-8]. В работе рассматривается задача фильтрации дискретного марковского процесса, специфика которой в математическом плане заключается в том, что оцениванию подлежит последовательность, уравнения состояния для которой представляют собой полином второго порядка относительно компонент вектора состояния, а измерения линейны. В докладе кратко излагается общий подход к построению такого рода алгоритмов в задачах оценивания последователь-

ностей при наличии нелинейностей в уравнениях динамики и более подробно исследуется вопрос анализа эффективности их применения в задаче идентификации параметров процессов, описывающих уходы гироскопов, зависящих от температуры [9], в сопоставлении с оптимальным алгоритмом и широко используемым на практике обобщенным фильтром Калмана. При проведении сопоставления значительное внимание уделяется не только анализу ошибок оценивания, но и вопросу адекватности вырабатываемых в алгоритмах характеристик точности, что является весьма важным при решении прикладных задач оценивания.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ 18-08-01261а.

Список литературы

- Степанов О.А. *Применение теории нелинейной фильтрации в задачах обработки навигационной информации* СПб: ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбор", 2003.
- Chen, Z. (2003). *Bayesian Filtering: From Kalman Filters to Particle Filters, and Beyond*. Adaptive Systems Lab., McMaster Univ., Hamilton, Canada.
- Sarkka, Simo (2013). *Bayesian Filtering and Smoothing*. Cambridge University Press. – 252 p.
- Степанов О.А. *Методы обработки навигационной измерительной информации*. Санкт-Петербург 2017.
- H.Н. Afshari , S.A. Gadsden , S. Habibi , *Gaussian filters for parameter and state estimation: a general review of theory and recent trends*, *Signal Process.* 135 (2017) 218–238.
- Басин М.В. *Среднеквадратическая фильтрация для стохастических систем с полиномиальными уравнениями состояния*. *Автоматика и телемеханика*. 2016. №2, С. 69-93.
- Hernandez-Gonzalez M., Basin M., Stepanov O. *Discrete-time state estimation for stochastic polynomial systems over polynomial observations*. *International Journal of General Systems*. 2018, 47(5)P. 512-528.
- O.A. Stepanov, V.A. Vasiliev, A.B. Toropov, A.V. Loparev, M.V. Basin *Efficiency analysis of a filtering algorithm for discrete-time linear stochastic systems with polynomial measurements*. *Journal of the Franklin Institute* Volume 356, Issue 10, July 2019, Pages 5573-5591.
- Тупысев В. А., Иванов Д. П. *Особенности применения фильтров калмановского типа при*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ ОБОЛОЧКИ ВРАЩЕНИЯ АППАРАТА ПРИ ДЕЙСТВИИ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В ЖИДКОСТИ

The investigation the behavior of the non uniform shell of rotation under impact of a shock wave in a liquid

И.К. Туркин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Исследование поведения неоднородной оболочки вращения аппарата при действии ударной волны в жидкости. Полученный результат может использоваться в проектировании аппаратов работающих в жидкости.

Работа посвящена исследованию поведения неоднородной оболочки вращения аппарата при действии ударной волны (УВ) в жидкости. Под неоднородностью оболочки понимается наличие в носовой части оболочки жесткого элемента конструкции. Таким образом рассматривается взаимодействие плоской УВ в идеально сжимаемой жидкости с упругой неоднородной оболочкой вращения аппарата. Оболочка заключена в жесткий параболический экран, тем самым влияние торца на дифракцию УВ не учитывается.

Движение и поле скоростей жидкости подчиняется линейным волновым уравнениям [1,2]. Полное гидродинамическое давление представляется в виде суммы давлений в падающей, отраженной и излученной волнах. Далее решается совместно основное волновое уравнение и уравнение движения оболочки при нулевых начальных условиях. Граничные условия на торце оболочки отвечают жесткой заделке, а на торце жесткого элемента выполняются условия, соответствующие перемещению этого торца в осевом направлении.

Безразмерное смещение жесткого носового элемента в осевом направлении определяется из решения уравнения его движения как твердого тела. Давление в отраженной волне определяется интегрированием по поверхности жесткой носовой части величины элементарных нагрузок [2,3].

Задача определения напряженно-деформированного состояния упругого параболоида вращения, содержащего в носовой части жесткий элемент взаимодействующего с ударной волной в жидкости решается с помощью численного интегрирования методом Рунге-Кутты-Мерсона по времени. В результате определяются суммарное давление на оболочку, её напряженно-деформированное состояние, кинематические параметры движения жесткого носового элемента. Из полученных результатов следует, что максимальные давления имеют место вблизи места крепления оболочки и жесткого носового элемента, где поперечные прогибы малы и давление излучения невелико. При этом максимальные прогибы, продольные усилия, и изгибающие моменты зависят от учета давления излучения в ударной волне. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании аппаратов, функционирующих в жидкой среде.

Список литературы

- Туркин И.К. Исследование взаимодействия упругой оболочки вращения аппарата с ударной волной в жидкости. Труды XXIII международной научной конференции «Системный анализ, управления и навигации» Тезисы докладов сборник. – М:МАИ, 2018, 200с
- Замышляев Б.В., Яковлев Ю.И. Динамические нагрузки при подводном взрыве Л: Судостроение 1967, 387с
- Григолюк Э.И., Горшков А.Г. Нестационарная гидроупругость оболочек Л: Судостроение 1974, 208с

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ НИЗКОПЛОТНОСТНЫХ КОДОВ

Comparison of decoding algorithms for LDPC Codes

А.А. Фоминых

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

А.А. Фоминых – студентка кафедры безопасности информационных систем,
научный руководитель доцент А.А. Овчинников

В данном докладе проведен краткий обзор основных методов декодирования низкоплотностных кодов и их упрощения. Рассматриваемые упрощения имеют меньшую сложность на этапе обновления проверочных узлов, что приводит к ускорению декодирования.

Низкоплотностные коды получили широкое распространение в связи с ростом их эффективности при увеличении длины, что, в свою очередь, приводит к росту сложности декодирования, из-за чего низкоплотностные коды были исключены из рассмотрения почти на 40 лет. Но развитие техники вызвало новую волну интереса к низкоплотностным кодам.

Декодирование низкоплотностных кодов представляет собой итеративные посимвольные процедуры, т.е. алгоритмы оперируют не с блоками, а с отдельными символами принятого слова, и нахождение кодового слова производится не за одну итерацию алгоритма, а за несколько, с последовательным уточнением результата. Галлагером [1] были предложены методы декодирования с жестким решением (алгоритм инвертирования бит) и с мягким решением (алгоритм распространения доверия). Алгоритм распространения доверия является достаточно сложным с точки зрения реализации, но выигрывает простой алгоритм инвертирования бит в качестве декодирования.

Первоначальный алгоритм распространения доверия, также известный как алгоритм суммы-произведения (Sum-Product Algorithm, SPA), содержит вычислительно сложное выражение на этапе обновления проверочных узлов. В докладе рассматриваются алгоритмы, упрощающие данный этап, и проводится сравнение алгоритмов по скорости работы. Уменьшить сложность декодирования можно следующими способами: аппроксимирова исходное выражение; используя предвычисленные таблицы; применяя многопороговое декодирование, направленное на уменьшение числа итераций, необходимых для нахождения кодового слова.

Одной из модификаций SPA является алгоритм Min-Sum (MS) [2], выбирающий минимальное из принятых значений надежностей. MS позволяет уменьшить вычислительную сложность, жертвуя при этом эффективностью декодирования из-за используемой в нем аппроксимации. Чтобы нивелировать этот недостаток, предложены алгоритмы: нормализованный Min-Sum (Normalized Min-Sum,

NMS) и Min-Sum со смещением (Offset Min-Sum, OMS) [3]. Корректирующие коэффициенты применяются напрямую к выражению, в котором производится обновление значений проверочных узлов в алгоритме MS. В свою очередь, в алгоритме NMS коэффициент нормализации определяется величиной выбранного минимального значения, и, если оно близко к нулю, это приводит к ухудшению работы алгоритма. Коэффициент смещения в OMS задается до начала процесса декодирования и одинаков для всех итераций, как улучшение может быть рассмотрен итеративно изменяющийся коэффициент смещения [4], [5].

Алгоритмы log-BP и Voh-Plus позволяют ускорить процесс декодирования, приводя выражение для проверочных узлов в виде функции, значения которой могут быть вычислены до начала процесса декодирования и представлены в виде таблицы [6].

Пороги в декодировании определяют необходимость изменения значения на текущей итерации. Итеративное изменение порогов ускоряет процесс декодирования, уменьшая число выполняемых итераций алгоритма для каждого кодового слова.

В докладе приводятся графики сравнения алгоритмов по вероятности ошибки и таблица сравнения по скорости декодирования.

Список литературы

- Gallager, R. G. *Low-density parity check codes* / R. Gallager // *IRE Trans. on Information Theory*, vol. IT-8, P.21-28, 1962.
- Fossorier, M. P. C. *Reduced complexity iterative decoding of low-density parity check nodes based on belief propagation* / M. Fossorier, M. Mihaljevic, H. Imai // *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 47, no. 5, P. 673-680, 1999.
- Chen, J. *Density evolution for two improved BP-based decoding algorithms of LDPC codes* / J. Chen, M. Fossorier // *IEEE Communication Letters*, vol. 6, no. 5, P. 208-210, 2002.
- Jiang, M. *Adaptive offset min-sum algorithm for low-density parity check codes* / M. Jiang, C. Zhao, L. Zhang, E. Xu // *IEEE Communication Letters*, vol. 10, issue. 6, P. 483-485, 2006.
- Xu, M. *A modified Offset Min-Sum decoding algorithm for LDPC codes* / M. Xu, J. Jianhui, M. Zhang // *2010 3rd IEEE International Conference on Computers Science and Information Technology*, vol. 3, P.19-22,

2010.

Clevorn, T. *Low-Complexity Belief Propagation Decoding by Approximations with Lookup-Tables* / T.

Clevorn, P. Vary // *5th International ITG Conference on Source and Channel Coding (SCC)*, P. 211-216, 2004.

ОПТИМИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА В РЕЖИМЕ ЗАДАННОЙ СКОРОСТИ, ПОСТРОЕННОЙ С ПОМОЩЬЮ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ЗАКОНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Optimization of a mathematical model of a microcontroller control system of a flywheel engine in a given speed mode, built using various mathematical methods and control laws

Бабишин В.Д., Некрасов В.В., Соседко К.А.

Акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна», г.Москва

Некрасов В.В. – аспирант АО «Корпорация «ВНИИЭМ», научный руководитель профессор РТУ МИРЭА д.т.н. Бабишин В.Д.

Создание микроконтроллерной системы управления двигателем-маховиком для высокودинамичных космических аппаратов на отечественной элементно-компонентной базе выявило потребность в постановке задачи поиска функции управления. По итогам проведенного исследования поставленной задачи была построена математическая модель. Натурные испытания, полученной функции управления признали соответствие требованиям для внедрения, но не максимизирующим заданным характеристикам, поэтому в данной работе предложены варианты ее оптимизации.

Введение

В качестве исполнительных органов систем ориентации и стабилизации различных космических аппаратов (КА) применяют двигатели-маховики (ДМ). Появление российской радиационно-стойкой микроконтроллерной техники открыло новые возможности в управлении ДМ, и инициировало разработку нового ДМ с цифровым микроконтроллерным управлением (ДМ-МК) на базе АО «Корпорация «ВНИИЭМ».

Постановка решаемой задачи

Концепция создания цифрового микроконтроллерного управления нового поколения ДМ ориентирована на обеспечение характеристик ДМ, как исполнительных органов системы ориентации и стабилизации высокودинамичного КА. Эта концепция подразумевает осуществление маневров КА на максимально высоких допустимых значениях управляющих моментов, создаваемых системой ДМ, и высокоточную стабилизацию КА за кратчайшее время.

Исходя из вышеизложенной концепции была сформулирована следующая научная задача [1]:

Дано: основные технические характеристики ДМ-МК и требования к допустимому отклонению частоты вращения ротора в режиме управления по скорости ДМ-МК.

Найти: функцию управления ДМ-МК в режиме заданной скорости.

Построение математической модели для решения научной задачи

Функция управления процесса выхода и поддержания устойчивого значения требуемой скорости с необходимой погрешностью за максимально короткое время во всем диапазоне требуемых скоростей, представлен в виде трех этапов. Каждый этап выполняет свою подзадачу, требующую частного подхода и методологии решения. Отметим, что значения контролируемой ошибка скорости (E), определяют номер этапа.

Этап 1 решает подзадачу максимально быстрого уменьшения E, до значения времени начала этапа 2. Этап 1 осуществляется с помощью двухпозиционного закона регулирования.

Этап 2 решает подзадачу максимально точного выхода на значение требуемой скорости. Этап 2 представляет собой решение численный методом вычисления обыкновенного дифференциального уравнения с помощью метода Эйлера.

Этап 3 решает подзадачи: контроля отклонений функций управления с помощью метода наименьших квадратов и стабилизации требуемой скорости с помощью пропорционально – интегрального закона регулирования.

Постановка задачи по оптимизации математической модели

По итогам проделанной работы построена математическая модель функции управления ДМ в режиме заданной скорости вращения ротора для высокودинамичных КА в реальном масштабе времени.

Натурные испытания, проведенные на макете ДМ-МК, подтвердили выполнение поставленной задачи, но не на максимальных характеристиках выхода на значение требуемой скорости (этап 2), поэтому в данной работе предложены варианты оптимизации выхода на значение требуемой скорости.

Оптимизация построенной математической модели

Оптимизация математической модели состоит в повышении точности, т.е. количества дифференци-

ализаций этапа 2 за допустимое время. На настоящий момент оптимизированным методом является модифицированный метод Эйлера (количество дифференциализаций равно двум).

Планируемое внедрение двигателя-маховика с цифровым микроконтроллерным управлением – 2019 год.

Список литературы

1. Бабишин В.Д., Некрасов В.В., Соседко К.А., Постановка научной задачи по разработке нового двигателя-маховика для управления малыми космическими аппаратами.– Крым: ТРУДЫ МКЭЭЭ-2018, 24 – 28 сентября 2018 Крым, Алушта. – С. 149 – 151.

ПЛАТФОРМА ДЛЯ СТЕНДОВОЙ ОТРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ

The platform for performing bench practicing of manual actuation algorithms

В.Н. Колбасов, А.А. Мясников

Московский Авиационный Институт (Национальный Исследовательский Университет)
Колбасов В.Н. – студент кафедры «системы автоматического и интеллектуального управления летательными аппаратами», научный руководитель доцент кафедры 301,

к.т.н. Чемоданов В.Б.,

Мясников А. А.- студент кафедры «технологии производства двигателей летательных аппаратов».

В рамках поставленной задачи была разработана платформа для отработки алгоритмов ручного управления ЛА. Платформа представляет собой полностью оборудованное место оператора с органами управления ЛА и персональный компьютер (ПК) со средой моделирования SimInTech, в которой проводится сам процесс обработки действий оператора. Так же среда SimInTech интегрирована с системой имитации внекабинной визуальной обстановки (СИБВО).

При выполнении работы ставилась задача создать платформу для отработки различных задач в области систем управления летательными аппаратами (ЛА), в частности, отладки алгоритмов директорного управления. Рабочее место оператора включает в себя кресло пилота и органы управления (ручка и педали), взятые с серийно выпускавшегося истребителя, что дало существенное приближение процесса к реальному. Для проведения моделирования использован ПК, имеющий необходимые мощности для обеспечения совместного функционирования программы моделирования движения ЛА и системы имитации внешней внекабинной обстановки. В среде SimInTech заложена модель самолёта, в которую с органов управления после обработки АЦП поступают сигналы с органов управления. Далее они обрабатываются и на выходе поступают на многофункциональный индикатор (МФИ), так же сделанный и заложённый в среде SimInTech. Далее будут подробно описаны составляющие платформы.

Отклонения органов управления измеряются посредством потенциометрических датчиков и передаются на вход математической модели в программе SimInTech. Выбор потенциометрических датчиков, из множества функционально подходящих, обоснован достаточной точностью, отсутствием

дискретизации сигналов, долговечностью, простой замены в случае ремонта и планового обслуживания.

ПК для стенда подбирался с учётом всех технических требований, предъявляемых программным обеспечением и с учётом мощностей, необходимых для проведения всех типов моделирования и отработки самых разнообразных задач.

Из программного обеспечения основным элементом является среда моделирования SimInTech. Именно в ней заложена модель ЛА и производятся все необходимые операции. Так же SimInTech позволяет нам в рамках нашего программного пакета осуществлять вывод и отображение на МФИ, на котором в реальном времени выводятся показания, получаемые в результате работы модели. Помимо этого SimInTech позволяет передавать данные через внутренний сервер в другие программы, например в СИБВО. Это позволило наладить совместную работу этих программ для получения конечного результата, не подключая дополнительных устройств.

Опыт работы со стендом показал надёжность, доступность элементной базы, а так же возможность использования в учебном процессе без предварительной высококвалифицированной подготовки оператора

Список литературы:

1. Богословский С.В. Дорофеев А.Д. Динамика полёта летательных аппаратов СПб.: ГУАП, 2002.
2. <http://simintech.ru>
3. Гуськов Ю.П. Загайнов Г.И. Управление полётом самолётов Москва: Машиностроение, 1980

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ В ЗОНЕ ТРЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЭНДОПРОТЕЗА

Development of installation for the research of electrical processes in the friction zone of metal endoprosthesis

Я.А. Гордюшин, В.Н. Сковпень

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»
Я.А. Гордюшин – магистрант кафедры приборостроения, метрологии и сертификации,
научный руководитель доцент В.Н. Сковпень

Тематика является актуальной по причине того, что эндопротезы являются достаточно ответственными изделиями и несоответствие их характеристик заданным может повлечь за собой нежелательные последствия. Разрабатываемое устройство может реализовать процесс диагностики изделий на стадии его производства, что позволит исключить брак и в дальнейшем решать исправимы ли бракованные изделия или необходимо пустить их в утилизацию. Это позволит снизить процент установленных дефектных имплантов, что в свою очередь позволит увеличить конкурентоспособность производимых эндопротезов, исключит большое количество повторных операций по замене дефектного эндопротеза.

Эндопротез тазобедренного сустава – устройство, заменяющее функцию сустава. Они бывают с различными узлами трения металл-пластик, керамика-пластик, керамика-керамика и металл-металл. Самыми износостойкими и долговечными являются керамические и металлические пары трения, но они в свою очередь, также имеют ряд своих недостатков. Например, металлическое трибосопряжение, по сравнению с керамическим трибосопряжением, может работать при высокой амплитуде движений суставов человека с большой стабильностью, а при большой двигательной активности в реальных условиях это очень важно. Основным недостатком данных трибосопряжений является высокая местная токсичность продуктов трения при непосредственном контакте. Именно поэтому необходимо такое устройство, которое могло бы при производстве эндопротезов с парой трения металл-металл позволить проанализировать смазку, и микроконтактирование поверхностей чашки и головки, что позволит отсеять негодные изделия и не допустить их использование по назначению.

Диагностика по данной тематике достаточно сложна по следующим факторам, продукты износа малы, части диагностируемого объекта закреплены в испытательном устройстве в результате этого затрудняется доступ к ним, тазобедренные эндопротезы и их компоненты сложной формы и должны наиболее близко отвечать реальной форме тазобедренного сустава [1-4]. Если проводить диагностику эндопротеза непосредственно при производстве, возникает

возможность делать корректировки характеристик изделия для достижения оптимального результата и избежать возможных экономических расходов на исправление некачественных изделий.

Поэтому контроль состояния пар трения данных изделий очень важная задача, так как если в изделии пара трения не надлежащего качества, то продукты ее износа могут попадать в человеческий организм, а это в свою очередь может вызвать различные осложнения, которые могут привести к повторной операции по замене тазобедренного сустава.

Для контроля состояния трибосопряжения рассмотрим электрорезистивные методы, эффективно развивающиеся в настоящее время [5, 6]. При реализации электрорезистивных методов состояние объекта оценивается при его работе в эксплуатационных (или имитирующих эксплуатационные) режимах и условиях. При этом специальные первичные преобразователи не применяются - сигнал измерительной информации снимается непосредственно с трущихся деталей или деталей, гальванически связанных с ними, а определение необходимых характеристик объекта осуществляется с помощью соответствующих алгоритмов обработки информации.

Разрабатываемое устройство пары трения тазобедренного сустава может реализовать процесс диагностики изделий на стадии его производства, что позволит отфильтровывать производимые изделия и в дальнейшем решать исправимы ли бракованные изделия или необходимо пустить их в утилизацию. Это позволит снизить процент установленных дефектных имплантов, что в свою очередь позволит увеличить конкурентоспособность производимых эндопротезов, исключит большое количество повторных операций по замене дефектного эндопротеза.

Список литературы

1. Травматология ортопедия. Глава 1. Когда и кому выполняется эндопротезирование тазобедренного сустава? [Электронный ресурс] – Загл. с экрана - Режим доступа: <http://travmaorto.ru/318>.

2. Эндопротезы [Электронный ресурс] – Загл. с экрана – Режим доступа: <http://www.vrach-travmatolog.ru/endoprotezy>.

3 Беркович, И.И. Трибология. Физические основы, механические и технические приложения [Текст]: Учебник для вузов / И.И. Беркович, Д.Г. Громаковский; Под ред. Д.Г.Громаковского. – Самара: СГТУ, 2000. – 268 с.

4. Подмастерьев К.В. Электропараметрические методы комплексного диагностирования опор качения. [Текст] / К.В. Подмастерьев. - М.: Машиностроение – 1,2001. – 376 с.

5. Жидков, А.В. Электрорезистивный метод контроля состояния трибоузла (на примере эндопротеза тазобедренного сустава с парой трения «металл-металл») и оценка его достоверности в пространстве меньшей размерности / А. В. Жидков // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – 2019, № 2. С. 125–131.

6. Математическая модель электрического сопротивления зон трения эндопротеза тазобедренного сустава с парой трения «металл-металл» / А.В. Жидков [и др.] // *Трение и износ.* – 2018. – № 3. С. 311–319.

ОЦЕНКА УРОВНЯ СИГНАЛА МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ПРИ ЦИФРОВОЙ ДИАФАНОСКОПИИ ВЕРХНЕЧЕЛЮСТНЫХ ПАЗУХ НОСА

Signal level evaluation by the Monte Carlo method at digital diafanoscopy of the maxillary sinuses

Е.О. Брянская, Р.Ю. Гнеушев, А.Г. Букин, В.В. Дрёмин, И.Н. Маковик
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

Брянская Е.О. – аспирант кафедры приборостроения, метрологии и сертификации,
Гнеушев Р.Ю. – студент кафедры приборостроения, метрологии и сертификации,
научный руководитель доцент А.В. Дунаев

Диагностика патологий верхнечелюстных пазух является одной из актуальных проблем современной оториноларингологии. Работа посвящена изучению возможности применения метода цифровой диафаноскопии для диагностики патологических изменений верхнечелюстных пазух и выявлению взаимосвязи регистрируемого сигнала и анатомических и гендерных особенностей области исследования.

Для обеспечения достоверной, безболезненной и своевременной диагностики патологий верхнечелюстных пазух перспективным видится применение метода цифровой диафаноскопии. Данный метод основан на просвечивании области исследования низкоинтенсивным излучением и визуализации картины рассеяния света с последующей цифровой обработкой полученных изображений [1]. Проходя через оптически неоднородную среду, представленную костными и мягкими тканями черепа и верхнечелюстных пазух, происходит частичное или полное ослабление интенсивности светового потока в зависимости от наличия или отсутствия в ней патологических изменений, тем самым позволяя выявлять наличие кистозной жидкости, гнойного содержимого и опухолевых образований.

С целью изучения особенностей применения данного метода для выявления различных патологических изменений верхнечелюстных пазух была собрана экспериментальная установка, включающая светодиодный аппликатор анатомической формы с длинами волн 650 и 850 нм, CMOS-камеру, а также компьютер со специализированным ПО. Измерения проводились на 20 условно-здоровых добровольцах и 15 пациентах с подозрением на патологии верх-

нечелюстных пазух при изменении времени экспозиции в диапазоне от 0 до 39,7 мс с шагом 1 мс с последующим сравнением результатов цифровой диафаноскопии, полученных для пациентов, с результатами МРТ. Анализ экспериментальных данных позволил выявить вариации в диаграммах рассеяния света у добровольцев и пациентов при одинаковом времени экспозиции CMOS-камеры, а также диагностировать у 4 пациентов из 15 наличие кисты в обоих исследованиях. Установлено, что при использовании одинакового времени экспозиции верхнечелюстные пазухи хорошо идентифицировались, но общая картина рассеяния света сильно различалась и по результатам предварительной оценки зависела от анатомических и гендерных особенностей.

Для того, чтобы выявить закономерности изменения рассеяния света и параметров зондирующей и измерительной частей экспериментальной установки с анатомическими и гендерными особенностями исследуемой области, а также с наличием патологических изменений проведено математическое моделирование и анализ величины ослабления зондирующего сигнала при его прохождении через оптически неоднородную среду. Моделирование проводилось в программной среде TracePro.

Результаты моделирования показали спад интенсивности светового потока, прошедшего на детектор, при его прохождении через ткани с патологией и при различных значениях толщины костной ткани, кожи, а также размеров пазухи в зависимости от гендерных особенностей. На длине волны 850 нм спад имел более выраженный характер и наблюдал-

ся как у мужчин, так и у женщин. При этом в ближнем ИК-диапазоне мощность сигнала на детекторе при прохождении через кистозное образование оказалась ниже (у мужчин для пазухи без кисты – 0,064 Вт, с кистой – 0,0102 Вт; у женщин – 0,076 Вт и 0,016 Вт, соответственно). Полученный результат наглядно демонстрирует связь с оптическими характеристиками кистозной жидкости [2] и её высокими поглощающими свойствами в данной области спектра [3], утолщением слоя слизистой оболочки пазухи, характерным для патологических изменений [4], а также с различием в толщине костной ткани и размеров верхнечелюстной пазухи у мужчин и женщин [5]. При этом их вклад в результирующий сигнал оказался различным. Учитывая данные экспериментальных исследований и результаты моделирования, можно сделать вывод в необходимости корректировки параметров зондирующей и измерительной частей, для обеспечения схожих картин рассеяния света для пациентов с различными анатомическими особенностями и возможности их последующего сравнения.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-2634.2019.8.

Список литературы

1. Bellemann V. *Digitale Diaphanoskopie der Nasennebenhöhlen* // *Medizinische Bildgeb. Master*. 2012. P. 30–31.
2. Jacques S.L. *Optical properties of biological tissues: a review* // *Phys. Med. Biol.* 2013. Vol. 58, № 11. P. 37–61.
3. Peters V.G. et al. *Optical properties of normal and diseased human breast tissues in the visible and near infrared in the visible and near infrared* // *Phys. Med. Biol. Relat. content*. 1990. Vol. 35, № 9. P. 1317–1334.
4. Bashkatov A.N. et al. *Optical Properties of Mucous Membrane in the Spectral Range 350 – 2000 nm* // *Opt. Spectrosc.* 2004. Vol. 97, № 6. P. 978–983.
5. Teke H.Y. et al. *Determination of gender by measuring the size of the maxillary sinuses in computerized tomography scans* // *Surg Radiol Anat.* 2007. Vol. 29. P. 9–13.

МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ КОЖНОЙ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ В ДИНАМИКЕ ЛЕЧЕНИЯ ПСОРИАЗА

Multiparametric approach to the estimation of the skin microcirculation state in the psoriasis treatment dynamics

А.К. Королева, М.А. Филина, Д.Д. Ставцев, М.А. Мезенцев

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

А.К. Королева, Д.Д. Ставцев, М.А. Мезенцев – студенты кафедры приборостроения, метрологии и сертификации, Филина М.А. – аспирант кафедры промышленной химии и биотехнологии, научные руководители доцент Е.В. Потапова, доцент А.В. Дунаев, доцент В.В. Дрёмин

В статье рассмотрены возможности комплексного применения лазерной доплеровской флоуметрии и высокоскоростной капилляроскопии в клинической практике дерматологов для оценки состояния микроциркуляторного русла у пациентов с диагнозом псориаз обыкновенный в динамике лечения. Исследованы основные микрогемодинамические показатели микроциркуляторного русла, оценена морфология капилляров и их основные параметры.

С каждым годом современные оптические методы все чаще применяются в медицине для ранней неинвазивной диагностики заболеваний различного типа, в том числе и дерматологического профиля. Такие оптические методы, как лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ), флуоресцентная спектроскопия, спектроскопия диффузного отражения, видеокапилляроскопия (ВКС) и другие, позволяют получить информацию о состоянии системы микроциркуляции крови (МЦК) пациента. Псориаз – социально-значимое заболевание, в патогенезе которого важную

роль играют сосудистые нарушения, возникающие задолго до клинических проявлений болезни [1].

Цель работы состояла в проведении экспериментальных исследований на пациентах, страдающих псориазом, с помощью двух методов оптической неинвазивной диагностики для оценки нарушений кожной микроциркуляции в динамике лечения.

В исследованиях приняли участие 10 пациентов (6 мужчин и 4 женщины) в возрасте 42 ± 16 лет с диагнозом псориаз обыкновенный в стационарной стадии с псориазическими поражениями на внутренней стороне предплечья. Исследование проводилось в динамике в три этапа, с интервалом 3–4 дня: до начала консервативного лечения, в процессе лечения и на завершающей стадии консервативного лечения.

Предложенная диагностика основана на комбинированном применении методов ЛДФ и ВКС. Для этих целей применялся канал ЛДФ с длиной волны 1064 нм многофункционального лазерного неинвазивного диагностического комплекса «ЛАКК-М» (ООО НПП «ЛАЗМА», г. Москва). Для проведения ВКС приме-

нялась оптическая система, собранная на основе микрообъектива Mitutoyo M Plan Apo 5X, боковой светодиодной подсветки на длине волны 530 нм, ПЗС камеры с разрешением 800x800 пикс. при кадровой частоте 150 Гц.

Было проведено исследование капилляров кожи в области ногтевого ложа и оценка микрогемодинамических показателей в тканях псориазических бляшек и невовлеченной коже верхних конечностей.

На первом этапе было установлено, что капилляры больных псориазом расширены, удлинены, имеют измененную форму, что отмечается и другими авторами [2, 3]. В псориазических бляшках наблюдается аномальное расположение поверхностных капиллярных петель, нарушение их структуры и незначительное увеличение их числа. Указанные патологические изменения сопровождаются увеличением метаболизма в очаге псориазического воспаления, о чем свидетельствует более высокий показатель микроциркуляции крови в области псориазического поражения ($14,1 \pm 5,3$ пф.ед.) относительно интактной ткани ($6,8 \pm 2,6$ пф.ед.). Также наблюдается и более высокое значений сердечных осцилляций в псориазической бляшке ($0,8 \pm 0,2$ пф.ед.) по сравнению с условно здоровой кожей ($0,4 \pm 0,2$ пф.ед.). Все выше перечисленное указывает на активный приток артериальной крови в капиллярное русло в результате воспалительного процесса и неэффективный отток крови.

В процессе лечения наблюдалось увеличение основных микрогемодинамических показателей как в ткани псориазической бляшки, так и в интактной ткани. На завершающем этапе лечения отмечалось уменьшение показателя микроциркуляции крови как в области псориазического поражения ($9,9 \pm 5,9$ пф.ед.), так и в невовлеченной ткани ($6,3 \pm 2,5$ пф.ед.), уменьшение амплитуд сердечного генеза в области псориазиче-

ской бляшки ($0,5 \pm 0,1$ пф.ед.) и в интактной ткани ($0,3 \pm 0,2$ пф.ед.), уменьшение числа визуализируемых капилляров в области псориазического поражения и интактной ткани относительно их числа на предыдущих этапах исследования, что может косвенно указывать на положительный эффект применяемой терапии. У пациентов с малым сроком течения болезни (до 10 месяцев) также наблюдалась частичная нормализация формы капилляров.

Предложенный многопараметрический оптический метод может позволить не только диагностировать нарушения в системе МЦК при псориазе на раннем этапе заболевания, но и дает возможность оценить эффективность проводимой терапии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-32-50007 и РФФИ-Урал в рамках научного проекта №17-41-590560 р-а.

Список литературы

1. Потапова Е.В., Филина М.А., Козлов И.О., Жарких Е.В., Дрёмин В.В., Малая Н.С., Снимщикова И.А., Дунаев А.В., Сидоров В.В., Крупаткин А.И. Особенности локальной микроциркуляции крови у пациентов с псориазом // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2018. – Т. 17. – № 3. – С. 58–64. doi:10.24884/1682-6655-2018-17-3-58-64.
2. Rosina, P., Zamperetti, M. R., Giovannini, A., & Girolomoni, G. (2006). Videocapillaroscopy in the Differential Diagnosis between Psoriasis and Seborrheic Dermatitis of the Scalp. *Dermatology*, 214(1), 21–24. doi:10.1159/000096908.
3. De Angelis, R., Bugatti, L., Del Medico, P., Nicolini, M., & Filosa, G. (2002). Videocapillaroscopic Findings in the Microcirculation of the Psoriatic Plaque. *Dermatology*, 204(3), 236–239. doi:10.1159/000057888.

ВОЗМОЖНОСТЬ ДИАГНОСТИКИ ГРАНИЦ НОВООБРАЗОВАНИЙ МЕТОДОМ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Possibility of diagnosis of tumors boundaries by fluorescence imaging

Д.Д. Ставцев, Е.С. Серёгина, К.Ю. Кандурова, В.В. Шуплецов

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

Д.Д. Ставцев, Е.С. Серёгина, К.Ю. Кандурова, В.В. Шуплецов – студенты кафедры приборостроения, метрологии и сертификации, научные руководители – доцент В.В. Дрёмин, доцент Е.В. Потапова

В статье описывается метод и устройство для флуоресцентной визуализации биологических тканей. Основой метода является регистрация изображений индуцированной флуоресценции на длине волны 455 нм. Описано устройство, реализующее метод флуоресцентной визуализации. Показаны результаты тестирования на лабораторном животном, у которого экспериментальным путем смоделирована опухоль печени.

Современные методы диагностики рака основаны на физическом обследовании поражений в сочета-

нии с традиционной биопсией с последующим гистологическим и цитологическим анализами. Хотя этот диагностический протокол принят в качестве «золотого стандарта», он субъективен, инвазивен и отнимает много времени. Оптические неинвазивные методы диагностики все больше применяются в медицине, в том числе в онкологии, позволяя изучать состояние биологических тканей *in vivo* в режиме реального времени без изъятия образца этой ткани [1]. Большой потенциал в обнаружении

ранних форм рака показал метод флуоресцентной диагностики, основанный на изучении различий в интенсивности и спектральном составе собственной флуоресценции здоровой и опухолевой ткани. Относительное содержание флуорофоров в биологической ткани (например, коферментов NADH и FAD, порфиринов) может быть определено с помощью метода флуоресцентной визуализации, позволяющего проводить пространственную оценку распределения специфических флуорофоров и визуализировать границы опухоли. Целью данной работы являлось изучение возможности определения границ опухоли методом флуоресцентной визуализации.

Экспериментальные исследования проводились на лабораторной мыши BDF (C57B16xDBA) с гепатоцеллюлярной карциномой в соответствии с принципами GLP. Во время исследования проводилась препарация тканей для открытия брюшной полости, включая поражения на печени. Область исследования освещалась сфокусированным излучением с длиной волны 455 нм. Изображение регистрировалось при помощи КМОП-камеры Thorlabs DCC3260C с объективом Thorlabs MVL25M23 че-

рез светофильтр FGL495. При освещении белым светом на предполагаемом месте опухоли был обнаружен небольшой белый узел. При использовании флуоресцентной визуализации наблюдалось изменение данного участка относительно соседних областей брюшной полости. Было зафиксировано наличие интенсивной флуоресценции опухоли в красной области спектра, что может свидетельствовать о накоплении в данной области порфиринов [2]. Данный метод может быть использован в клинической практике для визуализации границ опухолей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-02-00669\19.

Список литературы

1. Tuchin V. V. *Handbook of Optical Biomedical Diagnostics / Tuchin V. V. // Handbook of Biomedical Diagnostics – 2002.*
2. Kessel D. *Porphyrin-lipoprotein association as a factor in porphyrin localization. / Kessel D. // Cancer letters – 1986. – Т. 33 – № 2 – С.183–188.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗРАСТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ УСЛОВНО ЗДОРОВЫХ ДОБРОВОЛЬЦЕВ

The study of the age characteristics of the blood microcirculation parameters of healthy volunteers

Ю.И. Локтионова, Е.В. Жарких, И.О. Козлов, Е.А. Жеребцов, А.И. Жеребцова
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

Ю.И. Локтионова, Е.В. Жарких – студенты кафедры приборостроения,
метрологии и сертификации, И.О. Козлов – аспирант кафедры приборостроения,
метрологии и сертификации,
научные руководители – доцент А.В. Дунаев, с.н.с А.И. Жеребцова

Проведено сравнение параметров микроциркуляции крови в двух разных возрастных группах условно здоровых добровольцев. Параметры микроциркуляции были зарегистрированы с помощью двух носимых анализаторов, реализующих метод лазерной доплеровской флоуметрии.

В настоящее время оптические неинвазивные технологии получили большое распространение в области оценки состояния микроциркуляторного русла человека. [1]. Одним из наиболее часто применяемых является метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), который основан на зондировании ткани лазерным излучением и последующем анализе рассеянного отраженного от эритроцитов света. Помимо оценки уровня кровотока метод ЛДФ дает возможность получать важную диагностическую информацию о подсистемах сосудистой регуляции. Принято выделять несколько частотных диапазонов, вносящих вклад в формирование колебаний микроциркулятор-

ного русла: эндотелиальный, нейрогенный, миогенный, дыхательный и сердечный [2]. С возрастом в микроциркуляторном русле происходят различные трофические нарушения, которые могут осложнять течение таких социально-значимых заболеваний, как сахарный диабет, псориаз и ревматические заболевания. Для того чтобы выявить нарушения микроциркуляторного русла необходимо установить границы изменения параметров микроциркуляции здорового человека в разном возрасте. Целью данной работы явилось исследование возрастных изменений параметров микроциркуляции крови в пальцах рук.

Для проведения экспериментальных исследований использовались два портативных анализатора «ЛАЗМА-ПФ» (ООО НПП «ЛАЗМА», г. Москва, Россия), в которых реализованы идентичные каналы измерения ЛДФ. В исследовании приняли участие 20 здоровых добровольцев, которые были разделены на две группы по возрасту. В 1-ю возрастную группу входили

ли 11 волонтеров в возрасте до 20 лет (средний возраст $18,9 \pm 0,7$ года), во 2-ю группу – 9 добровольцев старше 40 лет (средний возраст $52,6 \pm 10,2$ года). Добровольцы были набраны так, что вторая группа была значительно старше первой, но в частоте сердечных сокращений и артериальном давлении статистически значимой разницы не наблюдалось. Проблем со здоровьем волонтеров выявлено не было, то есть выборки можно считать условно-здоровыми. Исследование проводилось не раньше чем через 2 часа после еды, в состоянии полного физического и психологического покоя. Во время исследования волонтеры находились в сидячем положении, руки размещались на столе, приблизительно на уровне сердца. Датчики располагались на подушечках средних пальцев рук. Записи перфузии крови проводились в течение 10 минут.

Каждая ЛДФ-грамма подвергалась вейвлет-анализу с помощью специализированной программы LDF 3.0.2.384. Были оценены средние значения показателя микроциркуляции крови, а также значения амплитуд колебаний кожного кровотока каждого диагностического диапазона.

Исследование выявило статистически значимые различия между двумя возрастными группами в среднем уровне перфузии и амплитудах сердечных колебаний, как в правом, так и в левом пальцах. Характерно то, что индекс микроциркуляции во 2-й группе выше, чем в 1-й, однако сердечные колебания имеют более высокую амплитуду в 1-й группе. Увеличение перфузии во 2-й группе может быть обусловлено структурными изменениями микроциркуляторного русла во

время старения, включая увеличение общей параллельной длины сосудов [3].

Таким образом, в настоящей работе было исследовано изменение параметров микроциркуляции крови здорового человека с возрастом. Полученные данные могут быть использованы для более детального выявления возрастных особенностей микрокровотока. Дальнейшие исследования с привлечением пациентов с микроциркуляторными нарушениями позволят сформулировать диагностические критерии для оценки состояния микроциркуляторного русла при различных патологиях.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-3400.2018.8.

Список литературы

1. Daly S., Leahy M. Go with the flow: review of methods and advancements in blood flow imaging // *Journal of Biophotonics*. 2013;6(3):217-255.
2. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. *Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: колебания, информация, нелинейность: руководство для врачей*. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 496 с.
3. Li, L., Mac-Mary, S., Sainthillier, J.-M., Nouveau, S., de Lacharriere, O., and Humbert, P. Age-related changes of the cutaneous microcirculation in vivo // *Gerontology*. 2006;52(3):142-153.

МИКРОФЛЮИДНЫЕ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОЖИДКОСТЕЙ

The microfluidic system for the analysis of rheological properties of biological liquids

Г.А. Зенченко, А.В. Торчинская

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»

Г.А. Зенченко – магистр кафедры биокрибернетических систем и технологий,

А.В. Торчинская – доцент кафедры оптических и биотехнических систем и технологий, к.ф.-м.н.

Представлены результаты разработки капиллярного вискозиметра с малым объемом биологической пробы. Основу конструкции чувствительного элемента такого устройства представляет полимерная пористая пленка, где диаметр пор соизмерим с размерами биомолекул. Проведены исследования эффективных сдвиговых вязкостей растворов моно и полисахаридов, а также получены значения скорости сдвига для раствора полисахаридов.

Современным направлением развития биофармацевтических и медицинских технологий является микрофлюидика. Микрофлюидные системы оперируют нано/микролитровыми объемами жидкости и

применяются для экспериментальных исследований в системах микроканалов.

Все биожидкости являются неньютоновскими, и их реологические свойства зависят от градиента скорости потока. Значения реологических параметров биожидкостей, в частности, коэффициента динамической вязкости определяют методом вискозиметрии. Для исследований был выбран капиллярный метод вискозиметрии, отличающийся высокой чувствительностью и малой погрешностью измерений. В исследовательской работе были выбраны два образца биожидкости – 40 % раствор глюкозы и 0,27 % раствор гиалуроновой кислоты [1].

В практических приложениях интерес представляет мембранная фильтрация, как метод разделения биожидкости на составляющие компоненты. Именно полимерные мембраны изготавливаются из полиэтилентерефталатной (ПЭТ) пленки. По размерам задерживаемых частиц в мембранных процессах выделяют микрофильтрационные мембраны с размером пор 0,1–1,0 мкм.

Реология определяет объемные вязкоупругие свойства жидкостей, которые связаны с их молекулярным строением. В частности, доказано, что структурированные жидкости могут рассматриваться, как аналоги жидких кристаллов, поэтому при исследовании реологических свойств данных объектов могут использоваться схожие методики. Это относится и к синовиальной жидкости, в состав которой входит гиалуроновая кислота. Понимание вязких сдвиговых свойств раствора гиалуроновой кислоты является важным для практических приложений. Данный объект рассматривается, как структурированный материал, со структурой, индуцированной сдвигом [2].

Методика проводимых исследований опирается на работы по измерению сдвиговой анизотропной вязкости в потоке жидких кристаллов, стабилизированном поверхностями [3]. Модель основана на теории затухающего потока, создаваемого медленно изменяющимся градиентом гидростатического давления, пропорционального разности уровней ЖК в цилиндрических расширительных ёмкостях, соединенных узлом, содержащим пористую ПЭТ плёнку, обладающую высоким гидродинамическим сопротивлением. Расчёт динамической вязкости основан на измерении характерного времени затухания потока.

В начале исследований были изготовлены экспериментальные образцы по технологии жидкокристаллической ячейки сэндвичного типа. В образце, между стеклянными пластинами формируется пря-

моугольный зазор, глубиной 2мм, длиной 8мм, высотой 7мм. ПЭТ плёнка разделяет этот зазор и создает микрофлюидную систему с огромным количеством цилиндрических каналов микронных размеров.

Проведенный эксперимент состоял из 3 этапов. Первый – исследование реологических свойств изготовленных образцов, заполненных калибровочной жидкостью – этанолом. Результаты калибровки показали хорошее совпадение справочных данных с экспериментом. Второй – исследование сдвиговой вязкости в потоке биожидкостного мономера, протекающего через пористую ПЭТ плёнку экспериментального образца. Третий – исследование зависимости реологических свойств биожидкостного полимера от градиента давления. Неньютоновский характер течения полимера определил необходимость расчёта среднего значения скорости сдвига.

Полученные результаты экспериментальных исследований показали хорошее соответствие по динамической вязкости с контрольными значениями для всех образцов. Проведенная работа подтвердила реальность создания микро вискозиметра с малым объемом биологической пробы.

Список литературы

- Демьянов К.Н., Зенченко Г.А., Торчинская А.В. Вискозиметрические исследования свойств биожидкостей в полимерных пористых пленках [Электронный ресурс]: (РНТК ФТИ-2018)/ сборник трудов конференции – М.: МИРЭА, 2018. – С. 806 – 812
- Szwajczak E., Kucaba-Piętal A., Telega J.J. Liquid crystalline properties of synovial fluid // *Engn. Trans.* – 2001. – V. 49(2-3). – P. 315–358
- Pasechnik S.V., Chigrinov V.G., Shmeliyova D.V. *Liquid Crystals: Viscous and Elastic Properties in Theory and Applications.* - New York: Wiley, – 2009. – 436 p.

УСТОЙЧИВОСТЬ СТАЦИОНАРНЫХ ДВИЖЕНИЙ ГИРОСТАТА

Gyrostat stability of stationary motions

Д.А. Балашов

НИИ механики МГУ, Москва

В данной работе рассматривается система, состоящая из диска, катящегося по горизонтальной плоскости без проскальзывания, и гироскопа, вращающегося относительно оси диска, при этом центр масс системы не совпадает с центром диска. Уравнения движения гиростата выписаны в форме уравнений Эйлера-Лагранжа [1] в квазикоординатах. Определено многообразие стационарных движений. Исследована устойчивость стационарных движений. Получены необходимые и достаточные условия устойчивости этих движений.

Данная модель гироската является более общим случаем систем, рассмотренных в [2,3]. Движение

системы описывается шестью обобщенными координатами. Система принадлежит к классу систем Чаплыгина [4] с двумя неголономными связями, обусловленными отсутствием проскальзывания диска в точке его касания горизонтальной плоскости. Эти связи позволяют понизить порядок системы.

Анализ уравнений движения показал, что в системе имеются три циклические и одна позиционная квазикоординаты. Найдено многообразие стационарных движений, когда позиционные квазикоординаты и циклические квазискорости остаются посто-

янными. Одним из интересных стационарных движений, принадлежащих указанному многообразию, является движение при котором вертикальный диск катится по линии окружности. В системе имеется три линейных интеграла, при помощи которых можно из уравнения для позиционной квазиординаты исключить возмущения циклических квазискоростей. Характеристическое уравнение приведенной системы имеет вид

$$W\lambda^2 + \tilde{K} = 0$$

Для устойчивости движения вертикального диска по окружности необходимо [5], чтобы корни характеристического уравнения были чисто мнимыми.

Данное условие приводит к неравенству $\tilde{K} > 0$.

Выражение для \tilde{K} можно рассматривать, как функцию, зависящую от стационарного значения угло-

вой скорости вращения системы относительно вертикальной оси и угловой скорости диска относительно его оси. Явный вид этого выражения здесь не приводится по причине громоздкости.

Список литературы

- Лурье А.И. Аналитическая механика. М.: Физматгиз, 1961.
 Леви-Чивита Т., Амальди У. Курс теоретической механики Т. 2, М.: Изд. Иност. Литературы, 1951.
 Миндлин И.М., Об устойчивости диска, несущего гироскоп // Инженерный журнал. 1964. Т. IV. Вып. 1. С. 101-104.
 Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А. Динамика неголономных систем. М.: Наука, 1967.
 Четаев Н.Г. Устойчивость движения. Гостехиздат. 1955.

ПОСТРОЕНИЕ ОБЛАСТИ ДОСТИЖИМОСТИ ЛИНЕЙНОЙ ПРИВОДИМОЙ СИСТЕМЫ

Attainability Region Construction for Reducible Linear System

Д.И. Бугров

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

Рассматривается линейная нестационарная вполне управляемая система, которая является приводимой, то есть может быть сведена к стационарной системе с помощью нестационарной замены координат. Предлагается способ построения области достижимости такой системы в заданный момент времени при известных ограничениях, наложенных на управление. Приведен пример, иллюстрирующий предложенный способ построения области достижимости.

Рассматривается линейная нестационарная вполне управляемая система второго порядка вида

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + b(t)u \quad (1)$$

Считается, что управление $u(\cdot)$ принадлежит множеству кусочно-непрерывных функций, ограниченных заданным значением. Элементы матрицы $A(t)$ и вектора $b(t)$ являются периодическими функциями времени, и таким образом система принадлежит классу приводимых систем [1]. Требуется построить область достижимости такой системы в известный момент времени T . Под областью достижимости $Q(T)$ понимается область в пространстве состояний динамической системы, состоящая из точек, в которые за конечное заданное время T может прийти траектория рассматриваемой системы, выходящая из начала координат, используя допустимое управление [2]. Построение области достижимости динамической системы позволяет получить оценку возможностей управления по переводу системы в заданное положение и определить влияние возмущений на точность такого перевода, оценить качество робастной устойчивости при постоянно действующих возмущениях, а также решать задачи гарантированного оценивания и теории дифференциальных игр. Умение строить обла-

сти достижимости важно для применения методики максиминного тестирования [3-4].

Так как система (1) является приводимой, то в некоторых случаях можно найти нестационарную невырожденную замену координат $y = F(t)x$ [1], которая сводит начальную систему (1) к стационарной

$$\frac{dy}{dt} = Cy + su \quad (2)$$

элементы матрицы C и вектора s являются постоянными.

Для стационарной системы (2) можно построить область достижимости в момент времени T , используя известные методы [3, 5-7]. Тогда граница области достижимости исходной системы (1) получается как результат применения преобразования $x = F^{-1}(t)y$ к точкам границы области достижимости стационарной системы (2).

В качестве примера рассматриваются уравнения движения твердого тела, стабилизированного собственным вращением, при наличии двигателя, жестко закрепленного на теле [1]:

$$\frac{dx_1}{dt} = -ax_2 + u \cos \Omega t$$

$$\frac{dx_2}{dt} = ax_1 + u \sin \Omega t$$

где $a = const$, $\Omega = const$.

Используя предложенную в [1] нестационарную замену координат, можно свести рассматриваемую систему к стационарной, в которой для $|u(\cdot)| \leq 1$ при некоторых T аналитически строится граница области достижимости полученной стационарной

системы и далее граница области достижимости $Q(T)$ исходной нестационарной системы. Работа ведется при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-00-01590).

Список литературы

Морозов В.М., Каленова В.И. *Линейные нестационарные системы и их приложения к задачам механики*. М.: Физматлит, 2010.

Поляк Б.Т., Щербаков П.С. *Робастная устойчивость и управление*. М.: Наука, 2002.

Александров В.В., Болтянский В.Г., Лемак С.С. и др. *Оптимальное управление движением*. М.:

Физматлит, 2005.

Лемак С.С. *К вопросу о формировании позиционных стратегий дифференциальной игры в методе экстремального прицеливания* Н.Н. Красовского // *Вестник Московского университета. Сер. I. Математика. Механика*. 2015. № 6, с.61-65.
Формальский А.М. *Управляемость и устойчивость систем с ограниченными ресурсами*. М.: Наука, 1974.

Чернуосько Ф.Л. *Оценивание фазового состояния динамических систем*. М.: Наука, 1988.

Kurzbaniski A., Valui I. *Ellipsoidal Calculus for Estimation and Control*. Birkhauser, 1997.

РЕГУЛЯРНАЯ И ХАОТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА МОДИФИЦИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АРНЕОДО

Regular and chaotic dynamics of modifying Arneodo system

И.А. Бережных

Воронежский государственный университет

И.А. Бережных – студент 3 курса кафедры цифровых технологий,
научный руководитель профессор М.Е. Семенов

В настоящей работе исследуется модифицированная система Арнеодо, с аддитивной гистерезисной составляющей, формализованной посредством модели Боука-Вена. Изучается вопрос о связи параметров указанной системы с различными режимами (хаотическим, почти периодическим, периодическим) её динамики. Приводятся результаты численного моделирования, бифуркационные диаграммы, а также спектр показателей Ляпунова, с помощью которого диагностируется соответствующий характер динамики системы.

В настоящее время большой интерес представляют задачи связанные с процессами управления хаотической динамикой [1]. Здесь существует два основных подхода: управление посредством принципов обратной связи, а также при помощи программного управления [2-3].

Особое место среди моделей нелинейной динамики занимает так называется система Арнеодо [4], не только в связи с широким проявлением хаотических свойств, но также и с достаточно прозрачной интерпретацией указанной системы, что позволяет провести ее анализ на ясном физическом уровне. Эта система возникла в связи с изучением динамики осциллятора, находящегося под воздействием внешней силы, скорость которой определяется состоянием системы [5]. Также модель может быть интерпретирована с точки зрения описания динамики конвективных процессов переноса жидкости. В настоящей работе указанная физически реализуемая система подвергается управлению посредством звена гистерезисной природы:

$$\ddot{x} + a\dot{x} + bx + x = cx^3 + A \cdot \Phi_{BW}(x, t) \tag{1}$$

где $\Phi_{BW}(x, t)$ - гистерезисное управление, формализованное посредством феноменологической модели Боука-Вена [6]:

$$\Phi_{BW}(x, t) = \alpha x(t) + (1 - \alpha)z(t), \tag{2}$$

$$\dot{z}(t) = A_1 \dot{x}(t) - \beta \left| \dot{x}(t) \right| \left| z(t) \right|^{n-1} z(t) - \gamma \dot{x}(t) \left| z(t) \right|^n$$

Результаты численных экспериментов продемонстрировали, что динамика системы (1), (2) существенным образом зависит как от параметров гистерезисного преобразователя, так и мультипликативного коэффициента A , в частности при увеличении гистерезисной петли происходит регуляризация хаотической динамики. Построенные бифур-

кационные диаграммы иллюстрируют переход к хаосу по одному из известных сценариев – каскаду удвоения периода Фейгенбаума.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №. 17-01-00251, №. 18-08-00053, №. 19-08-00158).

Список литературы

1. Кузнецов, С. П. Динамический хаос: – М.: Физматлит, 2001. – 296 с.
2. Semenov, M.E., Grachikov, D.V., Rukavitsyn, A.G., A.H. Грибков, Е.С. Полякова Meleshenko, P.A. On the state feedback control of inverted pendulum with hysteretic nonlinearity. MATEC Web of Conferences, 2014, Vol. 16, p. 05009. DOI: 10.1051/mateconf/20141605009
3. Семенов М.Е. Динамика демпфирующего устройства на основе материала Ишлинского /

- M.E. Семенов, М. Г. Матвеев, П.А. Мелешенко, А.М. Соловьёв // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2019. – № 20(2). С. 106–113.
4. Couillet, P., Tresser, C., Arneodo, A., "Transition to stochasticity for a class of forced oscillators" – 1979.
5. Arneodo, A. Chaos in a finite macroscopic system / Couillet, P, Spiegel E. A. // 1982
6. Ikhouane F. On the Hysteretic Bouc-Wen Model / F. Ikhouane, J. Rodella r // Nonlinear Dynamics. – 2005. – Vol. 42. – P. 63-78.

МОДЕЛЬ ВОДЯНОГО КОЛЕСА ЛОРЕНЦА-МАЛКУСА С ГИСТЕРЕЗИСНЫМ ТРЕНИЕМ: СТАБИЛИЗАЦИЯ ХАОСА

Lorenz-Malkus water wheel model under hysteresis friction: chaos stabilization.

Е.А. Карпов, П.А. Мелешенко, О.А. Шеина

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

Карпов Е. А. – студент кафедры «Цифровых технологий»,
научный руководитель профессор Семенов М. Е.

В настоящей работе исследуется модель водяного колеса Лоренца-Малкуса с гистерезисным трением. Для моделирования процесса трения использовалась феноменологическая модель Даля. Численные эксперименты показали, что учет гистерезисного трения стабилизирует систему в один из устойчивых фокусов. В качестве результатов представлены бифуркационные диаграммы и исследование на устойчивость стационарных точек.

Одним из подходов, позволяющих на модельном уровне описывать реально функционирующие системы и процессы, основывается на модели гистерезисных явлений, что обусловлено, с одной стороны, конструктивными особенностями таких систем, а с другой стороны – особенностями внешних условий, непосредственно влияющих на процесс функционирования. Гистерезисные явления достаточно распространены с точки зрения описания широкого класса физических [1-2], биологических [3] и других процессов, в которых состояния рассматриваемого объекта неоднозначно зависят от внешних условий. Одной из феноменологических моделей, применяемых для моделирования процесса трения твердого тела, по праву считается модель Даля [4], описываемая обыкновенным дифференциальным уравнением. Ее использование обусловлено, с одной стороны, простотой моделирования, а с другой стороны, за согласованность между экспериментальными и численными результатами. В настоящей работе модель Даля применяется для описания процесса гистерезисного трения на ободе водяного колеса Лоренца-Малкуса [5], что, в свою очередь, модифицирует классическую систему Лоренца путем добавления гистерезисного звена:

$$\begin{cases} \dot{x} = \sigma(y - x) - \kappa F \\ \dot{y} = x(r - z) - y \\ \dot{z} = xy - bz \\ \dot{F} = \alpha \dot{x} - \alpha \frac{F}{F_s} \dot{x} \end{cases},$$

где безразмерные переменные имеют следующий физический смысл: x соответствует угловой скорости вращения колеса, y и z отвечают положению центра масс воды в колесе, F сила трения, формализуемая моделью Даля. α и F_s есть коэффициенты жесткости опоры и сухого трения, соответственно. В настоящей работе в ходе численных экспериментов было установлено, что учет гистерезисного трения на ободе стабилизирует систему в один из устойчивых фокусов, что подтверждает анализ бифуркационных диаграмм и исследование на устойчивость особых точек. Представлены качественные отличия классической системы В отличии от классической системы, два фокуса являются устойчивыми.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №. 17-01-00251, №. 18-08-00053, №. 19-08-00158).

Список литературы

1. Семёнов М.Е., Матвеев М.Г., Лебедев Г.Н., Соловьёв А.М. Стабилизация обратного гибкого маятника с гистерезисными свойствами. / М.Е. Семёнов, М.Г. Матвеев, Г.Н. Лебедев, А.М. Соловьёв // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2017 – V.18 – P. 516-525.
2. Семёнов М.Е., Матвеев М.Г., Мелешенко П.А., Соловьёв А.М. Динамика демпфирующего устройства на основе материала Ишлинского. / М.Е. Се-

мёнов, М.Г. Матвеев, Г.Н. Лебедев, А.М. Соловьёв // *Мехатроника, автоматизация, управление*. – 2019. – V.20 – P. 106-113.

3. Blekhnman I. I., Sorokin V. S. *Effects produced by oscillations applied to nonlinear dynamic systems: a general approach and examples* / I.I. Blekhnman, V.S. Sorokin // *Nonlinear Dynamics* – 2016. – Vol. 83. – Issue 4. – P. 2125-2141.

4. Dahl P. R. *A solid friction model*. / P. R. Dahl // *The Aerospace Corporation. – Technical report*. – 1968.

5. Malkus W. V. R. *Non-periodic convection at high and low Prandtl number*. / W. V. R. Malkus // *Mem. Soc. R. Sci. Liege*. – 1972. – V. 4 – Issue 6. – P. 125-128.

СИНХРОНИЗАЦИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ АВТОКОЛЕБАНИЙ ОСЦИЛЛЯТОРА ВАН ДЕР ПОЛЯ В СИСТЕМАХ С ГИСТЕРЕЗИСНЫМИ ЗВЕНЬЯМИ

Synchronization of periodical auto-oscillations for the van der Pol oscillator in systems with hysteretic blocks

О.О. Решетова

Воронежский государственный университет

О.О. Решетова – аспирантка кафедры цифровых технологий,
научный руководитель профессор Семенов М.Е.

В настоящей работе исследуется динамика связанных осцилляторов Ван дер Поля, находящихся под периодическим внешним воздействием, с учетом гистерезисного управления, формализованного посредством феноменологической модели Боука-Вена. Рассматривается влияние регуляризирующей роли гистерезисного звена на процесс вынужденной синхронизации периодических автоколебаний системы, а также процесс взаимной синхронизации осцилляторов.

Одним из фундаментальных свойств нелинейных систем является синхронизация, т.е. установление определенных соотношений между характерными временами, частотами или фазами колебаний систем в результате их взаимодействия [1]. Явление синхронизации автоколебаний часто встречаются в радиотехнических и электронных устройствах, в ряде механических систем, а также в биологии и

экономике. В рамках классической теории различают вынужденную синхронизацию, т.е. синхронизацию автоколебаний внешним сигналом, и взаимную синхронизацию, наблюдающуюся при взаимодействии двух автоколебательных систем.

Осциллятор Ван дер Поля является одной из основных моделей нелинейной динамики и теории колебания, позволяющий описать периодические, квазипериодические, а также и хаотические режимы поведения системы. В настоящей работе для управления хаотической динамикой используется метод, основанный на включении гистерезисного звена в контур обратной связи. Близкие результаты были получены в работах [2-3].

Рассматриваемая модель описывает систему связанных осцилляторов Ван дер Поля с блоком гистерезисного управления:

$$\begin{cases} \ddot{x} - (\lambda - x^2)\dot{x} + \omega_0^2 x = A \cos(\omega t) + b\Phi_{BW}(x, t) \\ \ddot{y} - (\lambda - y^2)\dot{y} + \omega_0^2 y = \mu x, \end{cases} \quad (1)$$

где $\Phi_{BW}(x, t)$ блок гистерезисного управления, формализованный посредством феноменологической модели Боука-Вена, и удовлетворяющий следующим соотношениям [4]:

$$\begin{aligned} \Phi_{BW}(x, t) &= \alpha x(t) + (1 - \alpha)z(t), \\ \dot{z}(t) &= A_1 \dot{x}(t) - \beta |\dot{x}(t)| |z(t)|^{n-1} z(t) - \gamma \dot{x}(t) |z(t)|^n \end{aligned} \quad (2)$$

Численное моделирование поведения системы (1) показало, что при определенных значениях параметров μ, b, A в системе происходит как вынужденная синхронизация, так и взаимная синхронизация осцилляторов. Отметим также, что включение в систему блока, отвечающего гистерезисному управлению, оказывает значительное воздействие на полосу синхронизации. Проводя сравнительный анализ результатов численного моделирования си-

стемы (1) и результатов полученных для аналогичной системы без гистерезисного управления, удалось установить, что в системе (1) полоса синхронизации шире. Это утверждение справедливо, как для случая вынужденной синхронизации, так и для случая внутренней синхронизации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №. 17-01-00251, №. 18-08-00053, №. 19-08-00158).

Список литературы

1. Van-der-Pol B. *Theory of amplitude of free and force triod vibration* // *Radio Rev.* – 1920. – V.1. – P.701-710.
2. Семенов М.Е. Стабилизация обратного гибкого маятника с гистерезисными свойствами / М.Е. Семенов, М.Г. Матвеев, Г.Н. Лебедев, А.М. Соловьёв // *Мехатроника, автоматизация, управление.* – 2017. – №8. – с. 516–525.

3. Семенов М.Е. Динамика демпфирующего устройства на основе материала Иштинского / М.Е. Семенов, М.Г. Матвеев, П.А. Мелешенко, А.М. Соловьёв // *Мехатроника, автоматизация, управление.* – 2019. – №20(2). С. 106–113.
4. Ikhouane F. *On the Hysteretic Bouc-Wen Model* / F. Ikhouane, J. Rodella r // *Nonlinear Dynamics.* – 2005. – Vol. 42. – P. 63–78.

ДИНАМИЧЕСКИЙ ОТКЛИК ДИСКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ СИНУС-ГОРДОНА С ГИСТЕРЕЗИСНЫМИ СВЯЗЯМИ

Dynamic response to sine-Gordon discrete system with hysteretic links

А.В. Толкачев

Воронежский государственный университет
А.В. Толкачев – аспирант кафедры цифровых технологий,
научный руководитель доцент П.А. Мелешенко

В настоящей работе исследуется коллективная динамика цепочки нелинейных маятников (система синус-Гордон) с гистерезисными связями между отдельными элементами, формализуемой посредством феноменологической модели Боука-Вена. Рассматривается отклик (амплитудно-частотная характеристика) системы, первый маятник которой подвергнут внешнему периодическому воздействию, а так же устанавливается зависимость между значением параметров модели Боука-Вена и возникновением бистабильного режима.

Нелинейные периодические системы часто встречаются в научных областях, таких как биология, оптика, акустика и механика [1]. Одно из основных направлений нелинейной динамики связано с изу-

чением колебательных явлений в периодических системах. Например, система синус-Гордона является моделью для описания нелинейных волн в среде, а также имеет приложение в теории твердого тела [2]. Для описания динамики реальных физических и механических систем, необходимо учитывать эффекты гистерезисной природы [3, 4], возникающие в процессе длительного функционирования в силу естественного старения и износа механических составляющих.

Рассматриваемая модель описывает колебание системы нелинейных маятников (механическая модель Скотта) с гистерезисом в связях первый маятник в которой подвержен силовому воздействию.

$$\begin{cases} \mu\ddot{\theta}_1 + \delta l^2 \dot{\theta}_1 + \mu g l \sin \theta_1 + \alpha k \theta_1 + \alpha k (\theta_1 - \theta_2) + (1 - \alpha) k z_1^{left} + (1 - \alpha) k z_1^{right} = F \cos(\Omega \tau), \\ \mu\ddot{\theta}_m + \delta l^2 \dot{\theta}_m + \mu g l \sin \theta_m + \alpha k (\theta_m - \theta_{m-1}) + \alpha k (\theta_m - \theta_{m+1}) + (1 - \alpha) k z_m^{left} + (1 - \alpha) k z_m^{right} = 0, \\ \mu\ddot{\theta}_n + \delta l^2 \dot{\theta}_n + \mu g l \sin \theta_n + \alpha k \theta_n + \alpha k (\theta_n - \theta_{n+1}) + (1 - \alpha) k z_n^{left} + (1 - \alpha) k z_n^{right} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где z_m^{left} и z_m^{right} – безразмерные гистерезисные параметры, являющиеся решением соответствующих нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} z_m^{left} &= \left[A - \left(\beta + \gamma \operatorname{sign} \left(z_m^{left} (\dot{\theta}_m - \dot{\theta}_{m-1}) \right) \right) \left| z_m^{left} \right|^\eta \right] (\dot{\theta}_m - \dot{\theta}_{m-1}), \\ z_m^{right} &= \left[A - \left(\beta + \gamma \operatorname{sign} \left(z_m^{right} (\dot{\theta}_m - \dot{\theta}_{m+1}) \right) \right) \left| z_m^{right} \right|^\eta \right] (\dot{\theta}_m - \dot{\theta}_{m+1}) \end{aligned}$$

Параметры A, β, γ, η , существенным образом влияют на площадь петли гистерезиса, и подробно рассмотрены в работах [5, 6].

Результаты численного моделирования демонстрируют зависимость динамического отклика (амплитудно-частотной характеристики) от наличия в связях гистерезисной нелинейности, а также регулируемую и фильтрующую роль гистерезиса на солитонные решения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №. 17-01-00251, №. 18-08-00053, №. 19-08-00158).

Список литературы

1. Скотт, Э. *Нелинейная наука. Рождение и развитие когерентных структур.* Москва: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2007. – 560 с.
2. Заславский, Г.М. *Введение в нелинейную физику:*

от маятника до турбулентности и хаоса / Г.М. Заславский, Р.З. Сагеев. – Москва: Наука, 1988. – 368 с.

3. Семенов М.Е. Стабилизация обратного гибкого маятника с гистерезисными свойствами / М.Е. Семенов, М. Г. Матвеев, Г. Н. Лебедев, А. М. Соловьёв // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2017. – №8. – с. 516–525.

4. Рязских В.И. Стабилизация обратного маятника на двухколесном транспортном средстве / В.И. Рязских, М. Е. Семенов, А. Г. Рукавицын, О. И.

Канищева, А. А. Демчук, П. А. Мелешенко // Вестник Южно-Урунта. Сер. Матем. Мех. Физ. – 2017. – № 9. – с. 41–50.

5. Ikhouane F. On the Hysteretic Bouc-Wen Model / F. Ikhouane, J. Rodella r // Nonlinear Dynamics. – 2005. – Vol. 42. – P. 63-78.

6. Charalampakis, A.E. The response and dissipated energy of Bouc-Wen hysteretic model revisited / A.E. Charalampakis // Archive of Applied Mechanics – 2015. – Vol. 85. – P. 1209–1223.

СТОХАСТИЧЕСКАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

Stochastic dynamic model of meteorological parameters in the receiving atmosphere

И.И. Ульшин, В.С. Ножкин

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

В.С. Ножкин – адъюнкт кафедры теоретической гидрометеорологии, научный руководитель кандидат физико-математических наук, доцент И.И. Ульшин

В работе предлагается новый подход к учету турбулентных свойств в моделях переноса, в частности горизонтальная проекция скорости ветра на малых временных интервалах трактуется как случайный процесс с заданным характеристическим функционалом. На основе предложенного подхода получены явные формулы для математического ожидания и дисперсионной функции уравнения переноса.

Гидродинамическое моделирование является основным методом прогнозирования полей метеорологических величин [1-3]. В настоящее время нерешенной остается проблема учета в рамках моделей неупорядоченных хаотических возмущений, связанных с неоднородностями поля ветра [3]. В связи с этим целью настоящей работы является описание локальной гидродинамической модели переноса тепла, учитывающей неоднородности движения воздушных масс, на основе положений теории случайных процессов. Актуальность исследования обусловлена тем, что образование большинства явлений погоды связано с влиянием температурного режима в атмосфере.

При непериодических изменениях температуры выше пограничного слоя за сравнительно неболь-

шие интервалы времени процесс является адиабатическим [1, 2]. Предлагаемая модель переноса тепла предполагается одномерной и формализуется уравнением:

$$\frac{\partial T_{\varepsilon}}{\partial t} + \varepsilon(t) \frac{\partial T_{\varepsilon}}{\partial x} = f(x), \quad (1)$$

с детерминированным начальным условием:

$$T_{\varepsilon}(t_0, x) = T_{\varepsilon 0}(x), \quad (2)$$

где T_{ε} – температура воздуха; $\varepsilon(t)$ – проекция вектора скорости по направлению преимущественного переноса воздушной частицы, рассматриваемая как случайный процесс; $f(x)$ – детерминированная функция, учитывающая характеристики вертикальных движений, атмосферное давление и т.д. Более подробное описание данной функции представлено в [1, 3].

С использованием стандартной техники уравнение со стохастическими коэффициентами (1) с начальным условием (2) может быть сведено к детерминированному уравнению с вариационной производной относительно математического ожидания, решение которого имеет вид:

$$M[T_{\varepsilon}(t, x)] = T_{\varepsilon 0}(x) * \frac{1}{\sqrt{\pi B_1}} \exp\left(-\frac{(x-B)^2}{2B_1}\right) + f(x) * \int_0^t \frac{1}{\sqrt{\pi B_1}} \exp\left(-\frac{(x-B)^2}{2B_1}\right) d\tau, \quad (3)$$

где $B = \int_0^t M[\varepsilon(\tau)] d\tau$; $B_1 = \int_0^t \int_0^t b(\tau_1, \tau_2) d\tau_1 d\tau_2$; $b(\tau_1, \tau_2) = M[\varepsilon(\tau_1)\varepsilon(\tau_2)] - M[\varepsilon(\tau_1)]M[\varepsilon(\tau_2)]$ – ковариационная функция процесса ε .

Аналогичный прием позволяет получить уравнение

второй моментной функции и дисперсионную

функцию решения задачи (1) при начальном условии (2).

Наличие аналитических выражений характеристик случайных процессов позволяет сделать обоснованное суждение о виде и характере возмущений в исследуемой сложной системе, выбрать оптимальные интервалы съема данных, синтезировать модели для прогнозирования и фильтрации возмущений и т.п.

Предложенный подход, в отличие от традиционных гидродинамических моделей, позволяет количественно учитывать неконтролируемые пульсации

скорости ветра, что может служить основой для разработки новых моделей переноса.

Список литературы

1. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. СПб.: Гидрометеоиздат, 2000, 778 с.
2. Nozhkin V.S et al 2018 J. Phys.: Conf. Ser. vol. 1096. 012167.
3. Белов Я.Н., Борисенков Е.П., Панин Б.Д. Численные методы прогноза погоды. Л., Гидрометеоиздат, 1989, 376 с.

МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА ВИДОВ БИЗНЕС - ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Model of optimum selection of types of business activities

Р.М. Акчурин

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Рассмотрена проблема выбора вариантов бизнес - деятельности. Предложена модель оптимального выбора видов деятельности.

Определение видов деятельности на практике зачастую проходит без предварительных маркетинговых исследований рынка, спроса на продукции и услуг определенных видов бизнес – деятельности, не проводится пробный маркетинг вывода товаров и услуг на рынок, что приводит к потере доходности бизнеса, а иногда и к банкротству.

Для эффективного ведения бизнеса необходимо придерживаться важного принципа «Не вкладывать все имеющиеся ресурсы в один вид бизнеса». Очень часто при изменении конъюнктуры рынка, бизнесмены, вложившие в один вид бизнеса, несут большие финансовые потери.

Потеря больших финансовых средств приводит к низкой самооценке своих сил в управлении бизнесом. Избежать больших потерь в бизнесе позволит моделирование выбора предполагаемых видов бизнес – деятельности. В качестве эффективной модели выбора видов бизнеса предлагается модель в виде задачи линейного программирования с булевыми переменными:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i &\rightarrow \max, \\ \sum_{i=1}^n dr_{ij} \cdot x_i &\leq Dr_j, \quad j = \overline{1, m}, \\ \sum_{i=1}^n x_i &\geq k, \\ B_{il} &= \begin{cases} Spr_l, & \text{если } x_i = 1 \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}, \quad l = \overline{1, L}, \end{aligned}$$

где

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если выбран } i - \text{й вид бизнеса} \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}, \quad i = \overline{1, n},$$

P_i – прибыль при ведении i -го вида бизнеса,

$f z_i$ – финансовые затраты при ведении i -го вида бизнеса;

Fz – объем финансовых средств на ведение бизнеса;

$d z_{ij}$ – затраты j -го типа дефицитных ресурсов на ведение i -го вида бизнеса;

Dr_j – объем j -го типа дефицитных ресурсов, выделяемый на ведение бизнеса;

Spr_l – спрос на продукции или услуги при ведении l -го вида бизнеса;

k – количество видов бизнес-деятельности, которые ведет лицо, занимающееся бизнесом;

B_{il} – объем l -го типа выпускаемой продукции и предоставляемых услуг, при i -м виде бизнес-деятельности.

Для решения данной задачи с булевыми переменными применялся модифицированный алгоритм Балаша, изложенный в [Л].

Предложенная модель эффективного выбора видов бизнеса прошла апробацию на практике на примере малого бизнеса района Измайлово г. Москвы и Кимрского района Тверской области и показала хорошие результаты.

Список литературы

1. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации, 2-ое изд., Физматлит, 2008.

ОПИСАНИЕ МЕХАНИЗМА ДВУХЭТАПНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФОНДА ФИНАНСИРОВАНИЯ
В ПРОЦЕССЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АГЕНТОВ С ЦЕНТРОМ

Description of the two-staged mechanism for distribution of fund of financing
in the process of interaction agents with center

М.Х. Дорри

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва

Рассматривается механизм распределения центром финансирования, который при определенных условиях не позволяет агентам искусственно завышать средства, необходимые для выполнения задания.

Предполагается, что Центр получает производственное задание и средства R на финансирование выполнения задания. Центр привлекает для выполнения проекта исполнителей, которых мы будем называть агентами с номерами ($i=1, 2, \dots, m$), каждый из которых выполняет некоторую долю основной работы

В настоящее время при распределении финансирования среди агентов достаточно распространенным является принцип равных рентабельностей, который заключается в следующем. Агенты сообщают центру необходимые им средства Z_i для выполнения работы. При этом: n - кол-во агентов; R - фонд финансирования; p - процент аванса; Z_i - сообщаемые затраты $i=1, \dots, n$; c_i - объем финансирования $i=1, \dots, n$; L_i - кредит $i=1, \dots, n$; z_{pi} - реальные затраты $i=1, \dots, n$; На этапе планирования распределяется не весь фонд R , а только его часть C , где $C=pR$. В виде аванса агентам выдается сумма c_i ,

$$\begin{cases} \frac{c_i - Z_i}{Z_i} = \frac{c_j - Z_j}{Z_j} \\ \sum_{i=1}^n c_i = C \end{cases}$$

Если для выполнения проекта агенту требуется сумма z_{pi} , то $z_{pi} \geq c_i$, то агенты для выполнения проекта доплачивают свои средства S_i . Когда этих средств недостаточно, то берется кредит в банке по ставке кредитования равной β . Размер кредита $L_i = z_{pi} - c_i - S_i$. Таким образом, общие затраты агента для выполнения работы равны $z_{oi} = c_i + S_i + (z_{pi} - c_i - S_i)(1 + \beta) = (1 + \beta)z_{pi} - \beta(c_i + S_i) = z_{pi} + \beta L_i$. При распределении финансирования по принципу равных рентабельностей агенту выгодно завышать сообщаемые затраты Z_i для получения большей прибыли.

В докладе рассматривается описание двухэтапного механизма, в котором целевой функцией центра является определение минимальных средств, необходимых агенту для выполнения задания. Предполагается, что центр не знает, какие минимальные затраты z_{pi}^* потребуются агенту - их знает только агент. Центр задает только границы $Z_{i_{min}}$ и $Z_{i_{max}}$ ниже и выше которых не может стоять выполнение

работы. На первом этапе агенты сообщают центру необходимые им средства Z_i для выполнения работы.

В виде аванса агентам выдается сумма на выполнение работы равная $c_i = k_i Z_{i_{min}} (Z_{i_{max}} - Z_i) / (Z_{i_{max}} - Z_{i_{min}})$, т.е. чем больше запрашивает агент средств Z_i , тем меньше аванс. Если $c_i < z_{pi}^*$, то берется кредит в банке по ставке кредитования, равной β . В то же время в механизме заложены расчетные формулы по определению выплат на втором, окончательном этапе, которые стимулировали бы агентов к уменьшению Z_i и предъявлению реальных затрат равных с сообщаемым $z_{pi} = Z_i$. Разрешение указанного противоречия приводит к удовлетворению целевой функции центра.

Был построен специальный стенд на программном комплексе РДС [1], для анализа и подбора коэффициентов в рассматриваемом подходе. В настоящее время для оценки эффективности механизмов управления, разрабатываемых в рамках теории активных систем [2, 3], широко используются игровые имитационные эксперименты - деловые и имитационные игры. По мере развития информационных технологий подобные эксперименты стали проводиться с использованием вычислительной техники. При этом, использование компьютеров позволяет участникам игрового эксперимента не только оперативно обмениваться информацией, а ведущему игры не тратить время на сбор информации и ее обработку, но быстро и наглядно получать результаты игровых экспериментов. Проведенные исследования описываемого механизма на стенде подтвердили перспективность использования его на практике.

Список литературы

- Дорри М.Х., Роцин А.А. Программный комплекс для моделирования и исследования систем управления «РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ» (РДС): Справочное руководство. Часть 1: Устройство РДС и редактирование схем. URSS. 2018, - 344 с.
Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. 3-е изд. М.: Издательство физико-математической литературы, 2012. - 604 с.
Бурков В.Н., Ивановский А.Г., Немцева А.Н., Щепкин А.В. Организация и проведение деловых игр (методические материалы). М., ИПУ РАН, 1975. - 52 с.

**МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКАЯ БАЗА ДАННЫХ
ПО ПРИБОРНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 1С:ПРЕДПРИЯТИЕ И MS SQL SERVER**

Multiplayer database instrumentation aircraft with 1C: ENTERPRISE and MS SQL Server

Л.А. Белобжеский, О.А. Шевцов

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

О.А. Шевцов – студент кафедры 305 «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации», научный руководитель доцент Л.А. Белобжеский

В докладе рассмотрена разработка клиент-серверной базы данных по приборному оборудованию летательных аппаратов с использованием платформы 1С:Предприятия и сервера баз данных MS SQL Server. Данная база данных обеспечивает адаптивный интерфейс, безопасность хранения данных, высокую скорость обработки запросов, добавление и редактирование информации по различным типам приборного оборудования.

При проектировке базы данных (БД) по приборному оборудованию важнейшим фактором, требующим учета, является большое количество приборов на любом борту летательных аппаратов. При этом, зачастую, чтобы найти хотя бы один прибор в любом из ресурсов, будь то книга, или интернет, резко возрастает сложность поиска, из-за недостатка информации о приборе. Поэтому, со всей уверенностью можно утверждать, что вопрос о разработке клиент-серверной БД по приборному оборудованию летательных аппаратов, является на сегодняшний день актуальным.

Данная БД состоит из 3-х составляющих: клиент 1С, администратор серверов 1С, сервер. Сервер в данном случае используется как место хранения нашей БД. Для реализации возможности доступа и многопользовательской работы с информацией был использован сервер базы данных MS SQL Server 2014.

В целях безопасности при разработке базы данных все пользователи разделены на отдельные группы доступа: администраторы, редакторы, базовые пользователи БД. Также при входе применяется форма авторизации. Внешние пользователи, не прошедшие регистрацию, попасть в БД не смогут. Вся клиентская часть была разработана конструктором 1С:Предприятия. На данный момент она предоставляет удобный, интуитивно понятный пользовательский интерфейс, высокую скорость обмена между клиентом и сервером, работу сразу с несколькими формами. Также стоит отметить, что

большое количество компаний не только в России, но и за рубежом, пользуется платформой 1С. Данное клиентское приложение решает следующие задачи: добавление, редактирование и удаление информации по приборному оборудованию летательных аппаратов; многокритериальный поиск любой информации об оборудовании. Благодаря большой гибкости клиентского приложения, возможно создание внешних отчетов, редактирование форм, критериев поиска, а также разработка запросов внутри клиентского приложения.

Серверная часть БД отвечает за хранение информации о приборном оборудовании летательных аппаратов и построена на основе системы управления баз данных MS SQL Server.

Рассмотренная база данных существенно сокращает время и упрощает поиск информации о приборном оборудовании летательных аппаратов, что обеспечивает эффективный поиск нужной информации для пользователей.

Разработанная база данных может быть использована как на предприятии, так и в учебном процессе при подготовке специалистов в области авиационного приборостроения. Данный продукт установлен в локальной сети кафедры 305 МАИ и без проблем используется в многопользовательском режиме, помогая студентам ускорить и облегчить процесс поиска необходимой информации по приборному оборудованию летательных аппаратов.

Список литературы

Белобжеский Л. А., Кривинская А. Б. Модернизация информационно-справочной системы по датчикам с помощью современных информационных технологий. – «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации». Труды XX международного научно-технического семинара. Сентябрь 2011 г., Алушта, Пенза: Изд-во ПГУ, 2011, С. 232 – 233.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

Survey of modern methods of monitoring air electric networks

И.В. Жандарский, В.А. Шихин

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

И.В. Жандарский – аспирант каф. управления и информатики,
научный руководитель доцент В.А. Шихин

Исследуются современные методы мониторинга воздушных электросетей. На основе изученных методов мониторинга, получены метрики, контроль которых влияет на эффективность передачи электроэнергии и уменьшение потерь.

Использование новейших систем мониторинга воздушных электросетей в настоящее время стало особенно актуальным в России. Интерес связан с тем, что, во-первых, существенно возросла стоимость ущерба при крупных авариях, а во-вторых — значительно уменьшилась надежность энергосистем вследствие сильного износа используемого оборудования и проводных линий [1]. В настоящее время существует проблема потери энергии при передаче через воздушные электросети. Мощность теряется в основном на устройствах преобразования энергии и на протяженных линиях электропередач (ЛЭП). Потери энергии на протяженных линиях зависят от силы тока, поэтому при передаче ее на дальние расстояния повышают напряжение с помощью трансформаторов, во столько же раз уменьшая силу тока, что при передаче той же мощности позволяет значительно снизить потери [2]. Однако при использовании данного метода происходят различные разрядные явления, которые также влияют на потери в ЛЭП. Обеспечение контроля параметров, потоков энергии, качества электроэнергии и потерь на узловых станциях осуществляется путем установки перераспределяющего оборудования [3].

Во всем мире находят широкое применение различные системы мониторинга воздушных ЛЭП, обеспечивающие в реальном времени системного администратора информацией о параметрах воздушных сетей электроснабжения. Мониторинговая система состоит из сети измерительных приборов, связанных через каналы связи с оборудованием в диспетчерском пункте. Измерительные приборы распределены вдоль трассы ЛЭП и устанавливаются на опорах либо непосредственно на высоковольтных проводах [4]. Диспетчерские пункты, как правило, располагаются в узловых точках сетей перераспределения энергии. В большинстве случаев в них используются SCADA системы, обеспечивающие предварительную обработку данных от измерительных приборов и интерпретацию полученных результатов.

Выявленные метрики для мониторинга, влияющие на эффективность передачи электроэнергии в воздушных ЛЭП:

значение тока в проводе

температура провода в пролете

механическое напряжение провода в точках подвеса

значение затухания в оптических волокнах грозотроса или фазного провода

значение критических стрел провеса

климатические условия

вибрационные характеристики проводов

Потребность в увеличении передаваемой энергии вынуждает энергосистемы использовать ЛЭП на пределе их физических возможностей. При этом возрастает роль факторов безопасности и эффективности. Системы SCADA позволяют контролировать процессы, происходящие вдоль ЛЭП (локальный нагрев, критическая раскачка проводов, критический провес, обледенение), повышают возможности контроля эффективности передачи электроэнергии и могут весть к снижению потерь [5]. Мониторинговые системы не только способствуют повышению надежности доставки электроэнергии, но и уменьшают затраты на обслуживание за счет более оперативных и точных данных при определении аварийных участков электросети, а также прогнозирования проблемных ситуаций на трассе.

Список литературы

Основы современной энергетики: учебник для вузов. Т. 2. // И.М. Бортник; под ред. А.П. Бурмана и В.А. Строева. -М.: МЭИ, 2008. -632 с.

Ананичева С. С., Бартоломей П. И., Мызин А. Л. Передача электроэнергии на большие расстояния: Учебное пособие // изд. 3-е, исправл. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 85 с.

Быстрицкий, Г.Ф. Общая энергетика: учебник // Г.Ф. Быстрицкий. -М.: КНОРУС, 2013. 408 с.

Эффективные инженерные решения по повышению пропускной способности ВЛ на основе применения системы мониторинга тока и температуры проводов, математического моделирования поведения элементов линий в различных режимах эксплуатации // Материалы презентации МРСК Холдинг.

Костиков И. Система мониторинга САТ-1 – повышение пропускной способности и надежности в ЛЭП // Энергетика. 2011. № 3 (38).

СПЕЦИФИКА ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЙ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА КАК НЕМИНИМАЛЬНО-ФАЗОВОГО ОБЪЕКТА

Specificity of diagnostic retina pathology as a nonminimum-phase object

О.С. Колосов¹, В.А. Короленкова¹, О.Д. Титова¹, Д.В. Хрипков¹, М.В. Зуева²,
И.В. Цапенко²

¹Национальный исследовательский университет «МЭИ»

²Московский научно-исследовательский институт глазных болезней им. Гельмгольца

Короленкова В.А. – аспирантка каф. управления и информатики,
научный руководитель проф. О.С. Колосов,

О.Д. Титова – аспирантка каф. управления и информатики,
научный руководитель доцент Д.Н. Анисимов

Обсуждается возможность повышения эффективности работы систем диагностики патологий сетчатки глаза методами искусственного интеллекта, если использовать дополнительные информативные признаки, которые возможно получить при анализе годографов сетчатки для разных способов светового стимулирования.

Вопросам диагностики патологий сетчатки глаза посвящено множество работ, отражающих самые различные направления, использующие те только биологические подходы, но и их сочетания с чисто техническими. Эти подходы связаны с целенаправленной обработкой временных зависимостей или электроретинограмм (ЭРГ). ЭРГ- это изменения во времени биопотенциала сетчатки глаза в ответ на различные стандартные световые раздражители (стимулы) [1,2]. Характерные признаки заболеваний сетчатки в первую очередь связываются с характерными особенностями самих ЭРГ. К ним относят координаты точек экстремумов в ответ на одиночные световые вспышки (общая ЭРГ), максимальные отклонения ЭРГ при разных частотах подачи световых импульсов (ритмическая ЭРГ) или при периодической смене цвета наблюдаемого «шахматного поля» (паттерн ЭРГ) и т.д. Однако извлекаемых из ЭРГ признаков оказывается недостаточно, так как области их значений перекрываются для разных патологий, что не обеспечивает требуемую эффективность работы систем диагностики на базе современных методов искусственного интеллекта. Попытки использовать частотные преобразования рассматриваемых ЭРГ для получения дополнительных признаков путем анализа спектрального состава ЭРГ, а позже и амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) сетчатки позволили несущественно увеличить число информативных признаков, что не обеспечивает необходимое качество диагностики [3].

Более детальный анализ частотных свойств паттерн ЭРГ [2] показывает, что учет их фазо-частотных характеристик свидетельствует о том, что сетчатка глаза является неминимально-фазовым объектом, а у таких объектов отсутствует взаимно однозначное соответствие между их АЧХ и ФЧХ. Анализ ча-

стотных свойств подобных объектов целесообразно производить на комплексной плоскости путем построения их годографов или амплитудно-фазовых характеристик (АФХ). В докладе показываются виды годографов сетчатки глаза для разных патологий, построенные путем разложения паттерн ЭРГ в ряд Фурье. Демонстрируются характерные отличия их для двух видов патологий (глаукома и диабетическая ретинопатия) относительно субъекта со здоровой сетчаткой. Показываются характерные области частот, в которых целесообразно производить дополнительные преобразования АЧХ или ФЧХ для получения дополнительных информативных признаков заболеваний. В докладе также показываются годографы сетчатки, полученные в результате обработки ритмических ЭРГ. Для этого режима целесообразно рассматривать характер изменения годографов для полного набора стандартных частот стимулирования. Здесь также возможно выделение участков частот, где целесообразно подвергать дополнительной обработке АЧХ или ФЧХ для получения конкретных цифровых значений дополнительных признаков с последующей проверкой их корреляционных связей с известными формализованными признаками, извлекаемыми непосредственно из временных зависимостей. Доклад подготовлен при финансовой поддержке РФФИ (проект 19-01-00143а).

Список литературы

1. Hood D.C., Bach M., Brigell M., Keating D., Kondo M., Lyons J.S., Marmor M.F., McCulloch D.L. ISCEV standard for clinical multifocal electroretinography (mfERG) (2011 edition). *Doc. Ophthalmol.* 2012; 124: 1–13. doi: 10.1007/s10633-011-9296-8. Epub 2011 Oct 30.
2. Колосов О.С., Короленкова В.А. Методика обработки PATTERN электроретинограмм при оценке частотных характеристик сетчатки глаза для систем диагностики. // *Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сб. тр. XXVII Междунар. науч.-техн. конф., 14 – 20 сентября 2018 г., Алушта. Тамбов. Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ». 2018. С. 78.*

3.Titova, O[lga]; Anisimov, D[mitry] & Kolosov, O[leg] (2018). *Determination of the Current State of Human Retina Using Algorithms of Classification*, *Proceedings of the 29th DAAAM International Sympo-*

sium, pp.1209-1215, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-20-4, ISSN 1726-9679, Vienna,Austria, DOI: 10.2507/29th.daaam.proceedings.175.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АВАРИЙ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

Predict failures for power equipment

А.А. Коршикова, А.Г. Трофимов

ООО «Инконтрол», Россия, Москва, НИЯУ МИФИ, Россия, Москва

Разработан метод, позволяющий выявить начало развития аварийной ситуации, в то время как отдельные измерения не обнаруживают особенностей функционирования оборудования объектов энергетики в предаварийном интервале времени.

Данная работа имела целью создание программного продукта - программно-аналитического модуля предиктивной аналитики (ПАМ ПА), позволяющего с определенной вероятностью предсказывать неисправности в работе технологического оборудования энергоблока на ранних стадиях их возникновения [1].

Отличительной особенностью ПАМ ПА является его максимальная простота в выборе настроечных параметров, что позволяет существенно сократить и упростить наладочные работы и последующую его эксплуатацию. Обслуживание ПАМ ПА становится доступным обыкновенному инженеру после минимального обучения.

В основе разработанного алгоритма работы ПАМ ПА лежит предположение о том, что ряд технологических параметров, характеризующих работу контролируемого технологического оборудования, и/или их производные (средние значения, дисперсия и т.д.), будут иметь существенно различные плотности распределения на «нормальном» и «ава-

рийном» временных отрезках работы этого оборудования.

Перед каждым новым внедрением на технологическом оборудовании ПАМ ПА должен пройти стадию обучения, для чего требуются сведения об измеряемых параметрах этого технологического оборудования за достаточно длительные периоды работы на участках нормальной эксплуатации и на предаварийных участках работы контролируемого технологического оборудования с указанием вида каждой аварии. Обучение состоит из ряда последовательных статистических процедур:

линейной регрессии для исключения влияния базового параметра,

критерия AUC ROC для выделения признаков, обладающих наилучшей разделяемостью по «нормальным» и «аномальным» участкам,

метода ранговой корреляции Спирмена для выделения признаков, наиболее чувствительных к приближению аварийного состояния,

метода ядерных оценок (окно Парзена - Розенблатта) для оценки функций распределения.

Работа ПАМ ПА продемонстрирована (рис.1) на прогнозировании аварийных состояниях технологического оборудования газовой турбины на экспериментальном стенде системы автоматического управления газовой турбины.

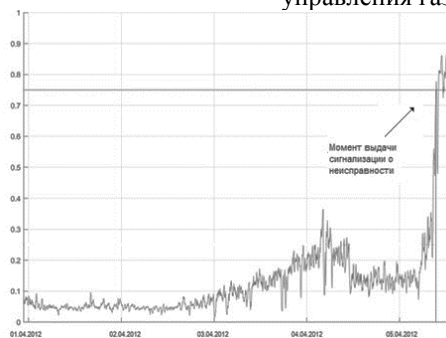


Рис. 1. График показателя аномальности

При выходе значения рассчитываемого показателя аномальности за установленный предел ПАМ ПА выдает сигнализацию, и решение о возможности дальнейшей эксплуатации оборудования принимают соответствующие специалисты.

Список литературы

1.Korshikova A. A., Trofimov A. G. *Model for early detection of emergency conditions in power plant equipment based on machine learning methods // Thermal Engineering*, 2019, Vol. 66, No. 3, pp. 189–195.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТА DOC2VEC В ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВ

The research of Doc2Vec tool in text classification

В.В. Купоренков, А.С. Мохов

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Купоренков В.В. – студент каф. управления и информатики,
научный руководитель старший преподаватель Мохов А.С.

В работе решается задача классификации статей технического журнала TechCrunch с помощью инструмента Doc2Vec. Рассматриваются вопросы настройки алгоритма, а также этапы предварительной обработки текстов.

В настоящее время интернет – один из самых популярных источников для поиска различной информации. В интернете можно найти все, что угодно и, зачастую, при поиске необходимой ссылки приходится просматривать десятки страниц с ненужным текстом. В связи с этим, можно сказать, что актуальность задачи классификации текстов увеличивается с каждым днем и будет продолжать расти, чтобы поиск информации был более точным и быстрым для пользователя.

С ростом вычислительных возможностей компьютеров все большую популярность набирает нейросетевой подход к обработке текстов, при котором тексты представляются в виде векторов в многомерном пространстве. Данная технология носит название Word2Vec [1, 2], на основе которой разработан инструмент векторизации Doc2Vec [1, 3]. В работе рассматривается возможность применения данного метода для решения задачи классификации текстовых статей технического журнала TechCrunch, при этом решается задача предварительной обработки статей и рассматриваются особенности настройки алгоритма классификации Doc2Vec. Обучение модели классификатора заключается в преобразовании каждого документа обучающей выборки в вектор n -мерного пространства, при этом, чем тематически ближе тексты между собой, тем ближе будут расположены вектора в пространстве по отношению друг к другу согласно метрике расстояния. Классифицируемый документ также преобразуется в вектор n -мерного пространства, метка класса выбирается путем отнесения к классу, к которому относится большинство из k ближайших документов. В качестве меры близости в работе используется косинусная мера близости [4].

В качестве исходной выборки использовались статьи журнала TechCrunch. Выборка состоит из 22942 документов, разделенных на 9 классов редколлегий журнала. При этом распределение документов по классам неравномерное, от 1054 до 5567 документов на класс, а сами классы достаточно сильно пересекаются между собой по тематикам. Используемый метод позволяет при первоначальной обработке выборки не проводить лемматизацию, stemming и удаление неинформативных слов. Доста-

точно лишь провести удаление дубликатов статей, если таковые имеются.

Для проведения исследований выборка была разбита случайным образом на обучающую и тестовую в размере 20000 и 2942 документов соответственно, на которой была обучена и настроена модели классификатора. К основным настраиваемым параметрам алгоритма Doc2Vec относятся количество эпох обучения (epochs), размерность векторного пространства n , количество ближайших документов k , нижние и верхние границы коэффициентов обучения (\min_alpha и $alpha$), окно между текущим словом и контекстными параметр эпох для классифицируемого документа (steps).

Для оценки качества классификации использовалась точность (accuracy), которая определяется как отношение количества правильно проклассифицированных документов к общему объему тестовой выборки. При этом под правильной классификацией понимается совпадение метки класса, назначенной классификатором с истиной меткой класса тестового документа, назначенной экспертом (редколлегий журнала).

Наилучшая точность классификации была достигнута при параметрах $epochs = 9000$, $n = 20$, $k = 1$, $alpha = 0,2$, $\min_alpha = 0,0025$, $steps = 2000$.

В ходе исследований было выявлено, что количество эпох обучения крайне сильно влияет на итоговое качество классификации – при увеличении данного параметра увеличивается и результирующая точность, однако также значительно увеличивается и время обучения модели. В дальнейшем планируется изучить возможность увеличения точности классификации методом Doc2Vec без значительного увеличения времени обучения за счет более тщательной настройки других параметров метода.

Список литературы

1. Xiang Zhang, Junbo Zhao, Yann LeCun. Character-level convolutional networks for text classification. Proc. Neural Inform. Processing Systems Conf. (NIPS 2015). Montreal, Canada, 2015. URL: <https://arxiv.org/abs/1509.01626>
2. Tomas Mikolov, Kai Chen, Greg Corrado, and Jeffrey Dean. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space // In Proceedings of Workshop at ICLR, 2013.
3. Ju R. et al. An Efficient Method for Document Categorization Based on Word2vec and Latent Semantic Analysis. 2015 IEEE Intern. Conf. on Comp. and Inform. Technology; Ubiquitous Computing and Com-

ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ КОМБИНИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Extremum-seeking combined control of electrical discharge machining process

Д.В. Михеева, В.А. Ломов

Пензенский государственный университет

Д.В. Михеева, В.А. Ломов – студенты кафедры «Автоматика и телемеханика»,
научный руководитель к.т.н., доцент О.В. Ермилина

Предлагается использовать алгоритм поиска экстремума для поддержания максимальной производительности процесса электроэрозионного профилирования. В основе алгоритма лежит рекуррентная процедура метода наименьших квадратов, в результате которой оценивается коэффициент передачи объекта, а затем с помощью прямых методов поиска нуля функции находится его нулевое значение.

Электроэрозионная обработка широко применяется для изменения размеров металлических изделий сложной конфигурации из твердых сплавов, а также для профилирования алмазных шлифовальных кругов. Основные недостатки электроэрозионной обработки – невысокая производительность и высокое энергопотребление. Использование экстремального регулирования при электроэрозионной обработке позволяет в значительной степени устранить эти недостатки [1].

Широкое применение экстремального регулирования сдерживается тем, что процесс электроэрозионной обработки носит стохастический характер, особенно это относится к процессу профилирования алмазных кругов. Сложный микрорельеф обрабатываемой поверхности, наличие токонепроводящих включений, нежелательность графитизации алмазных зерен под действием электрического тока, высокая точность профилирования предъявляют повышенные требования к системе управления процессом электроэрозионной обработки.

Управлять данным процессом традиционными методами поиска экстремума затруднительно, поэтому требуется разработка помехозащищенных и высокоточных алгоритмов экстремального регулирования. Особый интерес представляет использование комбинированного экстремального управления, при котором использование внутренней обратной связи позволяет не только повысить точность и быстродействие системы, но и существенно уменьшить уровень действующих на систему возмущений, парируя их в контуре обратной связи.

Для обеспечения устойчивости системы предлагается использовать рекуррентный алгоритм метода наименьших квадратов, с помощью которого вычисляется коэффициент передачи экстремального объекта по изменению его входной и выходной

величины с последующим поиском нулевого значения этого коэффициента [2]. Алгоритм экстремального регулирования состоит из следующих этапов: считывание входного и выходного сигналов с экстремального объекта; вычисление коэффициентов АРСС-модели по рекуррентному методу наименьших квадратов; вычисление коэффициента передачи объекта; поиск управляющего воздействия, обеспечивающего нулевое значение коэффициента передачи с использованием прямых методов поиска нуля функций.

Для повышения быстродействия и помехоустойчивости экстремальной системы управления процессом электроэрозионной обработки предложено использовать экстремальную комбинированную систему с местной обратной связью по активному сопротивлению межэлектродного зазора [3]. Исследования, проведенные на моделях, показали, что стабильность системы с местной обратной связью по сопротивлению возросла на 18 %, точность поддержания экстремума – на 16 %, производительность возросла на 20 %, энергопотребление снизилось на 10 %.

Список литературы

- Елисеев Ю. С. *Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники* / Ю. С. Елисеев, Б. П. Саушкин; под ред. Б. П. Саушкина. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 437 с.
- Семенов, А.Д. *Алгоритм экстремального регулирования на основе рекуррентной процедуры метода наименьших квадратов* / А. Д. Семенов, О. В. Авдеева, А. С. Никиткин // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки.* – 2012. – № 1. – С. 3–11.
- Авдеева О.В. *Автоматизация процесса электроэрозионной обработки с использованием метода экстремального комбинированного управления* / О.В. Авдеева, Д.В. Артамонов, А.С. Никиткин, А.Д. Семенов // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки.* – 2013. – № 4. – С. 212–224.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗАЗОРА ВЫПУСКНОГО ОТВЕРСТИЯ НАПОРНОГО УСТРОЙСТВА

Design of automated control system clearance outlet pressure device

М.С. Приказчиков, О.В. Ермилина

Пензенский государственный университет «ПГУ»

*М.С. Приказчиков – студент каф. «Автоматика и телемеханика», научный руководитель
к.т.н., доцент О.В. Ермилина*

В докладе рассматривается вопрос создания автоматизированной системы регулирования зазора выпускного отверстия напорного устройства.

Данная тема относится к области бумажного производства и охватывает один из важнейших её этапов: выпуск массы на сетку, от которого зависит успешная работа бумагоделательной машины и качество вырабатываемой бумаги: ее структура, однородность по толщине и весу квадратного метра и ряд других свойств.

Существующие системы регулирования положения губы не являются автоматическими и не обеспечивают должного регулирования выпускного отверстия напорного ящика, что в настоящий момент является актуальной темой в области бумажного производства из-за увеличения скоростей выпуска бумажной массы на сетку, которая может достигать 1000 м/мин и увеличения площади самого сеточного стола, на который бумажная масса вытекает под высоким напором.

Для того, чтобы спроектировать качественную систему регулирования требуется решить ряд задач: выбрать мехатронную систему, выбрать и рассчитать необходимый автоматизированный привод, а так же решить прямую и обратную задачи кинематики, для регулирования положения верхней планки напорного устройства бумагоделательной машины, разработать необходимое программное обеспечение.

Программное обеспечение для системы автоматического регулирования разрабатывается с целью автоматического регулирования зазора напускного отверстия напорного ящика с помощью программных средств на основе MATLAB и SCADA - системы.

В процессе подбора оборудования, отвечающим данным требованиям, помимо технических характеристик отдельное внимание стоит уделить ремонтпригодности, сроку выпуска комплектующих, наличию и качеству технической поддержки на территории РФ.

Необходимо проанализировать продукцию ведущих мировых производителей систем привода и материалов опубликованных научных исследований в этой области. Эта информация позволит отметить ярко выраженные тенденции развития электропривода и, как следствие, произвести необходимый нам выбор привода с нужными параметрами.

Для мониторинга, контроля и управления техническим процессом следует выбрать среду разработки DataRate.

Правильный выбор аппаратных и программных решений позволит спроектировать качественную, удовлетворяющую всем необходимым требованиям систему регулирования в предельно короткие сроки.

В результате всех проведённых мероприятий и выполнения необходимых условий будет спроектирована автоматизированная система регулирования зазора выпускного отверстия напорного устройства.

Список литературы

Иванов С.Н. Технология бумаги / Иванов С.Н. – Москва: изд-во «Школа бумаги», 2006. – 310 с.

Ключев В.И. Теория электропривода: Учеб. для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп.. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 573 с.

DataRate™. Быстрый старт/2-е изд.руководство пользователя 2005-2007. НПФ «КРУТ».

DataRate. Разработка НМИ-приложений/1-е изд. 2005-2008. НПФ «КРУТ».

**ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТРИК
ПРИ ОЦЕНКЕ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ СТУДЕНТОВ
БАЗОВОЙ КАФЕДРЫ**

**Experience of using metrics in evaluating educational research works
of students of the base chair**

И.В. Саурский¹, С.В. Сеницын²

¹ФГУП «Московское опытно-конструкторское бюро «Марс»,

²Московский авиационный институт (НИУ)

В докладе анализируются результаты, полученные при применении программных метрик для оценивания учебно-исследовательской работы студентов базовой кафедры, выполняющих разработку программных проектов в области систем управления реального времени.

С 2015 года текущие наработки студентов базовой кафедры 705Б МАИ (НИУ) по выполнению УИРС [1] было решено сохранять в системе управления версиями Subversion, а для выдачи заданий и удобной диспетчеризации работ использовать свободно распространяемое веб-приложение Redmine. График выполнения работы разбивался на несколько этапов, по итогам которых проставлялась промежуточная оценка на основе метрических свойств программных результатов [2].

Выполнение отдельной работы было разбито на следующие этапы: ознакомление с заданием, разработка интерфейса, разработка функциональных требований, написание текста программы, проведение тестирования, оформление пояснительной записки. Оценивалось как выполнение каждого этапа в установленные сроки, так и содержание документов, создаваемых на данном этапе в среде Subversion.

Признаком завершения этапа являлось физическое наличие требуемых по заданию материалов. По установленному графику проводилась оценка соответствия результатов разработки заданию. По тексту программы учитывались, как количественные (объем, количество операторов, сложность структуры), так и качественные характеристики (использование в программе указанных в интерфейсе функций и переменных, наличие операторов, реализующих функциональные требования, компилируемость программы, реализация возможности завершения программы по заданному условию).

Также, например, проводилась оценка соответствия количества требований и процедур, количества операторов языка [3] по сравнению со среднестатистическими данными, накопленными по предыдущим работам. Оценивалось во сколько, в среднем, операторов преобразуется одно требование и т.д.

В конце семестра результаты по этапам суммировались – по достижении определенного порогового значения баллов проставлялась соответствующая

оценка. За прошедшее время изменился характер оценки работы - первые два года по результатам выполнения УИРС, согласно учебному плану, проставлялась оценка (больше 180 баллов – «5», 179-150 – «4», 149-120 – «3», менее 120 – неуд.), а следующие 2 года – зачет. Поэтому, для использования метрики в формате зачет/незачет было изменено распределение балльных оценок по отдельным этапам и пороговое количество баллов (140 баллов), которое должен набрать студент к концу семестра таким образом, чтобы сохранить его заинтересованность в завершении проекта при наборе порогового значения. Средний балл по группе составил - при проставлении оценки: за 1 год – 196.4 баллов, за 2 год – 181.3 баллов; при проставлении зачета: за 1 год – 161.9 баллов, за 2 год – 195.2 баллов, за 3 год – 169.6 баллов. Можно сделать вывод, что оценки в виде зачета приводят к снижению «старания» студентов выполнить все задачи максимально полно.

За прошедшие 5 лет было накоплено большое количество данных о ходе выполнения заданий и итоговых оценках студентов. Результаты обработки полученных данных будут представлены в докладе.

Список литературы

- 1. Системы управления беспилотными летательными аппаратами: проблемы и исполнители / Попов Б.Н., Порешин П.П., Сеницын С.В., Сыров А.С. // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: Сборник трудов XXIII Международного научно-технического семинара, 14-20 сентября 2014 г., Алушта. - М.: ИКД "Зерцало-М", 2014. С. 90-92.*
- 2. Инструментальная среда поддержки учебного процесса базовой кафедры. Метрики оценки результатов / Саурский И.В. // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: Труды XXIV Международной научно-технической конференции, (14-20 сентября 2015 г., Алушта). - М.: Издательский дом МЭИ, 2015. С. 134.*
- 3. Холстед М. Х. Начала науки о программах / Пер. с англ. В. М. Юфы. - М.: Финансы и статистика, 1981.*

РАЗРАБОТКА ЕДИНОЙ СРЕДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ КЛЮЧЕВЫХ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Develop a unified design environment to support key lifecycle phases

С.К. Колдасова, О.М. Брехов
Московский авиационный институт

С.К. Колдасова – аспирант кафедры 304, научный руководитель О.М. Брехов

Для эффективного перехода на современный уровень электронного сопровождения жизненного цикла новейших наукоемких образцов техники предлагается создать единую среду проектирования поддержки ключевых этапах жизненного цикла изделий в целях снижения издержек и совершенствования технологий управления.

Для предприятий и организаций, выполняющих крупномасштабные и наукоемкие проекты, характеризующиеся многономенклатурностью изделий, длительным и сложным жизненным циклом (ЖЦ), а также с учетом требований информационной безопасности (ИБ) всех стадий этого ЖЦ, одной из актуальных является проблема организации эффективности совместной работы нескольких предприятий над такими проектами. При этом на передний план названной проблемы выдвигается необходимость повышения уровня кооперации предприятий и организаций – участников совместного ведения проектов и повышение оперативности и качества управляемости этой кооперации участников. Для этого необходимо обеспечить новый уровень интеграции, преемственности и совместного использования информационных ресурсов, формируемых на всех этапах ЖЦ всех названных изделий.

В настоящее время такой уровень интеграции, преемственности и совместного использования информационных ресурсов на всех стадиях ЖЦ изделий, возможен только при использовании информационной поддержки ЖЦ изделий (PLM-технологий) [1], реализуемых на основе аппаратно-программных платформ VDI, при которых средства реализации PLM-технологий предоставляются предприятиям и организациям – участникам совместного ведения проектов в качестве услуг или сервисов.

PLM – это стратегический подход к ведению бизнеса, который использует набор совместимых решений для поддержки общего представления информации о продукте в процессе его создания, реализации и эксплуатации, в среде интегрированного предприятия – начиная от концепции создания продукта и заканчивая его утилизацией – при интеграции людских ресурсов, процессов и информации [2].

VDI (Virtual Desktop Infrastructure) – инфраструктура виртуальных рабочих мест, в рамках данной технологии пользователь имеет доступ к собственным данным, а также приложениям, но не может управлять и не должен заботиться об инфраструктуре, операционной системе и собственном программном обеспечении, с которым он работает. Таким образом, осуществляется абстрагирование пользователя от аппаратно-программной части, а также снижаются затраты на закупаемое оборудование вследствие того, что автоматизированное рабочее место (АРМ) пользователя должно обладать лишь минимальным набором функционала для подключения к виртуальному рабочему месту.

Основной идеей при создании единой среды проектирования является создание, хранение, обработка и использование информационных ресурсов предприятий и организаций в едином информационном пространстве (ЕИП) информационной поддержки ключевых этапов жизненного цикла изделий, одними из основных компонентов которого являются центры обработки данных (ЦОД) и информационные инфраструктуры (ИИ) предприятий и организаций, осуществляющие защищенное (при необходимости) удаленное взаимодействие с этими ЦОД [3]. В таком ЕИП возможно существенно повысить эффективность и исключить дублирование функциональных компонентов ИТ-решений, повысить производительность труда при создании изделий, оптимизировать процесс производства, а также обеспечить заданное качество этих изделий.

Список литературы

1. Сайт компании Siemens PLM Software [Электронный ресурс] // <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/>
2. Решения Siemens PLM Software для технологической подготовки производства. Введение в Teamcenter Manufacturing и Tecnomatix Process Simulate [Электронный ресурс] // Siemens PLM Software. С. 48. URL: www.siemens.ru/plm.
3. Зильбербург Л.И., Молочников В.И., Яблочников Е.И. Информационные технологии в проектировании и производстве. – СПб: Политехника, 2008. – 304 с.: ил.

АВТОРЫ (алфавитный указатель)

После Фамилии И. О. автора указаны номера страниц, с которых начинаются тексты пленарных докладов или тексты тезисов секционных докладов с участием этого автора.

А

Абд Эльрахим А. К. – 152
Аблаева А. Е. – 93
Абакумов А. А. – 57
Акчурин Р.М. – 185
Александрова Р. И. – 45
Александрова Ю. С. – 57
Алексеев В. В. – 85
Алехин Р. В. – 155
Аль-Бусаиди С. С. – 47
Анисимов Д. Н. – 57, 60, 73, 76, 77
Антипят И. С. – 130
Антонов И. И. – 83
Аревшатян Э. С. – 34
Арутюнян Т. Г. – 53
Афонин А. А. – 130, 131
Ахмедов И. А. – 143

Б

Бабишин В. Д. – 170
Бабочкин М. А. – 71
Балакин А. А. – 154
Баларев Д. А. – 57
Балашов Д. А. – 178
Банников А. А. – 66
Барсуков А. А. – 36
Басыров Р. Н. – 103
Белобжеский Л. А. – 157, 187
Белоусов М. А. – 61, 70
Бережных И. А. – 180
Березина А. А. – 60
Беседин В. М. – 61
Блашонков Т. О. – 155
Бойков А. И. – 98
Болотин Ю. В. – 122
Бондяшов В. В. – 165
Брагин А. В. – 122
Брехов О. М. – 195
Брянская Е. О. – 173
Бугров Д. И. – 179
Бугрова А. Д. – 102
Букин А. Г. – 173
Булгаков А. С. – 67

Булычев Р. П. – 29
Бурова А. Ю. – 115
Бурцев П. А. – 90
Бусурин В. И. – 30
Быковцев Ю. А. – 78

В

Варшавский П. Р. – 155
Васильев В. А. – 167
Василькова П. Д. – 73
Васиньков В. А. – 61
Величко А. П. – 148
Волк А. О. – 156
Волков А. И. – 107
Волкова М. А. – 45
Воронина В. Н. – 120
Вязьмин В. С. – 126

Г

Гаврилин К. Б. – 65
Гаврилушкина В. В. – 148
Гайдай М. А. – 114
Герасимов С. И. – 62, 133, 136
Глеб К. А. – 5
Глебов Н. В. – 54
Глушнев В. Д. – 133, 136
Голован А. А. – 123, 125, 127
Гордюшин Я. А. – 172
Горский Е. Б. – 108
Гнеушев Р. Ю. – 173
Грибков А. Н. – 27, 39
Грушичева М. В. – 91
Грязин Д. Г. – 5
Грязнов С. М. – 60
Гуменник А. И. – 55
Гурина А. О. – 72
Гусев А. А. – 107
Гусейнов А. Б. – 118
Гусманова М. Р. – 134

Д

Данилевич Е. В. – 111
Демина В. Д. – 63
Державин О. М. – 33
Джумгалиев А. Е. – 49

Динь Ба Фьонг – 93
 Дмитриев О. С. – 36
 Дорри М. Х. – 186
 Дрёмин В. В. – 173
 Дубицкий В. А. – 29
 Дулкина К. И. – 109
 Дунич Е. А. – 94
 Дяченко С. А. – 151

Е

Е Вин Тун – 119
 Евстратов А.Р. – 111
 Егоров Ю. Г. – 101
 Елисеев В. Л. – 72, 74, 75
 Еличева Е. А. – 135
 Ермилина О. В. – 193
 Ермолаев А. А. – 56
 Ефимов А. А. – 31

Ж

Жандарский И. В. – 188
 Жарких Е. В. – 176
 Жарков М. В. – 158
 Жарков Р. В. – 158
 Желбаков И. Н. – 62, 133, 136
 Железнов В. М. – 123
 Жеребцов Е. А. – 176
 Жеребцова А. И. – 176

З

Заведеев А. И. – 110
 Завольский И. Н. – 163
 Зелинская А. И. – 132
 Зенченко Г. А. – 177
 Злыднева Л. С. – 63
 Зобачёв Д. Ю. – 61
 Зуева М. В. – 189

И

Ивакин М. В. – 44, 85
 Ильин В. Б. – 108
 Исянов Р. Н. – 63, 109, 160, 162

К

Калашникова Т. С. – 64
 Калинина Г. А. – 159
 Канаев С. А. – 83, 90, 91
 Кандурова К.Ю. – 175
 Капралов Ф. С. – 124
 Карпов Е. А. – 181
 Климова Е. А. – 160
 Клопков А. А. – 128
 Ключина И. А. – 109
 Коваленко А. В. – 42

Козлов А. В. – 124
 Козлов И. О. – 176
 Колбасов В. Н. – 171
 Колганов Л. А. – 164
 Колдасова С. К. – 195
 Колосов О. С. – 57, 71, 189
 Колотыркин И. П. – 25
 Колпинский С. В. – 74
 Комаров А. С. – 93
 Комарова М. С. – 160
 Кононов М. А. – 53, 54, 55, 120
 Конькова А. С. – 149
 Копелович В. А. – 108
 Копылов И. А. – 108
 Коржов К. Н. – 102
 Коробков К. А. – 30
 Королёва А. К. – 174
 Короленкова В. А. – 57, 89
 Коршикова А. А. – 190
 Костюков В. М. – 105
 Коффер К. В. – 61
 Кочегаров И. И. – 41
 Кошеварова Н. А. – 30
 Кошелев Б. В. – 153
 Крылов А. А. – 129
 Крюков В. А. – 40, 97
 Кузнецов И. М. – 128
 Кузнецов П. Ю. – 125
 Кузнецова А. А. – 71
 Кукишев Д. Ю. – 95
 Куликова К. С. – 161
 Кульков В. М. – 101
 Куперштейн В. Б. – 102
 Купоренков В. В. – 191
 Курис Э. Д. – 166
 Курносков Р. Ю. – 145
 Кутейникова Е. Н. – 92
 Кухаренко И. И. – 111

Л

Лалабеков В. И. – 92, 99
 Лалаянц Р. Э. – 157
 Ламзин В. А. – 104
 Ларин А. А. – 49
 Лашев А. Я. – 37
 Легошин Д. А. – 33
 Литовка Ю. В. – 31, 66
 Локтионова Ю. И. – 176
 Ломов В. А. – 192
 Лубенец В. А. – 153
 Лупачев А. А. – 42, 135, 161

М

Маковик И. Н. – 173
 Малышева Н. В. – 162
 Мамкин Е. М. – 151
 Маркарян А. О. – 86
 Маркин Н. А. – 120
 Марковский В. С. – 137
 Матвеев М. Т. – 80
 Медникова О. С. – 76
 Мезенцев М. А. – 174
 Мелешенко П. А. – 181
 Мешков В. В. – 37
 Мещеряков В. Н. – 98
 Милюкова Е. А. – 75
 Мирсайтов С. Ф. – 121
 Михайлин Д. А. – 113
 Михеева Д. В. – 192
 Мишин В. В. – 89
 Млюкова Ю. А. – 76
 Моисеева М. В. – 85
 Молозина М. Ю. – 149
 Морозов А. А. – 117
 Мороховец Ю. Е. – 159
 Москаленко О. В. – 83, 90, 91, 149
 Мохов А. С. – 191
 Мошков Е. М. – 111
 Муромцев Д. Ю. – 27, 35
 Мухачева И. Е. – 155
 Мызников Г. И. – 126
 Мясников А. А. – 171

Н

Нгуен З. Т. – 40
 Нгуен Н. М. – 103, 107
 Нгуен Х. К. – 131
 Некрасов В. В. – 170
 Неретин Е. С. – 151
 Нижневский В. В. – 80
 Никитенко И. А. – 44, 85
 Новичков В. М. – 115
 Ножкин В. С. – 184
 Носов Г. А. – 118
 Нэй Мью Чжо – 42, 161

О

Осипов Л. А. – 68

П

Павлова М. В. – 51
 Павлова Н. В. – 34
 Панов М. Н. – 133, 136
 Парафесь С. Г. – 113
 Парфёнов Д. В. – 143

Парфёнов Н. М. – 69
 Пенкин С. С. – 94
 Пикалов В. В. – 98
 Плясов А. В. – 40, 97
 Погребисский М. Я. – 67
 Подмастерьев К. В. – 89
 Поликарпов А. Н. – 97
 Полетаев А. С. – 100
 Полухин С. В. – 165
 Поляков С. А. – 155
 Полякова Е. С. – 39
 Пономарев С. В. – 47
 Поплавский Б. К. – 11
 Попов А. А. – 96
 Послянова О. Н. – 52
 Приказчиков М. С. – 193
 Пронькин А. Н. – 56, 114
 Пушкарева Е. Р. – 105

Р

Ременникова М. В. – 70
 Решетова О. О. – 182
 Рузняев И. О. – 41
 Румакина А. В. – 113
 Рябинкин М. С. – 79, 105

С

Савкин А. В. – 139
 Садеков Р. Р. – 46
 Самсонович А. В. – 28
 Самсонович С. Л. – 92
 Саурский И. В. – 132, 194
 Севидова Д. О. – 77
 Селихов А. В. – 89
 Семенов Т. В. – 68
 Серёгина Е. С. – 175
 Сержант Н. А. – 68
 Сивакова Т. В. – 81
 Сидорова Е. Ю. – 33, 43
 Сиицын С. В. – 194
 Сироткин Г. Н. – 111
 Сковпень В. Н. – 172
 Слепцов В. В. – 93
 Смольянов Д. И. – 127
 Смыков Г. В. – 56
 Соболева А. Г. – 43
 Соколов Л. В. – 16, 138
 Соседко К. А. – 170
 Ставцев Д. Д. – 174, 175
 Степанов Н. В. – 142
 Степанов О. А. – 167
 Судаков В. А. – 81

Сулаков А. С. – 131

Сурков Д. А. – 166

Т

Тимофеев А. М. – 121

Титова О. Д. – 57, 189

Тихомирова Д. В. – 28

Токарев Р. А. – 35

Толкачев А. В. – 183

Торчинская А. В. – 149, 177

Трофимов А. Г. – 190

Трошин А. А. – 93

Трухова Н. А. – 70

Тумаев М. Д. – 106

Тупысев В. А. – 167

Туркин И. К. – 168

Тюрин И. В. – 35

Тягунов О. А. – 154

У

Ульшин Н. И. – 184

Ф

Фаворский Е. К. – 88, 147

Фаворский К. Г. – 88, 147

Федорова Е. В. – 77

Филина М. А. – 174

Фирсюк С. О. – 101

Фоминых А. А. – 169

Фролов М. А. – 165

Х

Хайбулаева Н. М. – 61

Ханьков И. Г. – 150

Харин Е. Г. – 108

Хлоднов А. С. – 153

Хризолитова С. А. – 64, 96

Хрипков О. Д. – 189

Худак Ю. И. – 143

Ц

Цапенко И. В. – 189

Ч

Чан В. К. – 105

Черноморский А. И. – 166

Чернышова Т. И. – 145

Чехов Е. Л. – 59

Ш

Шабарчин А. Ф. – 102

Шайкин Р. О. – 65

Шамкин В. Н. – 27

Шаповалов Н. А. – 130

Шевцов О. А. – 187

Шейна О. А. – 181

Шихин В. А. – 152

Шишкин А. А. – 48, 84

Шлеенкин Л. А. – 29

Шумов М. Б. – 166

Шуплецов В. В. – 175

Щ

Щербак А. Г. – 51, 52

Ю

Юльметьева О. С. – 51, 52

Я

Ягодкина Т. В. – 49

Яковлев А. В. – 85, 140

Ямашев Г. Г. – 130

Содержание

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЁХМЕРНОГО МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
Д.Г. Грязин, К.А. Глеб 5

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МЭМС-КНИМТ ТЕНЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ В ЖЁСТКИХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ
Л.В. Соколов..... 16

ДОКЛАД ПАРТНЁРА КОНФЕРЕНЦИИ

ЧТО ТАКОЕ SIMINTECH. РАЗВИТИЕ И ПЛАНЫ
И.П. Колотыркин..... 25

Секция 1

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ НА МНОЖЕСТВЕ СОСТОЯНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
Д.Ю. Муромцев, А.Н. Грибков, В.Н. Шамкин..... 27

ЭМПИРИЧЕСКАЯ ВАЛИДАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВИРТУАЛЬНЫХ АКТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОМИОГРАММЫ
Д.В. Тихомирова, А.В. Самсонович 28

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА АКСЕЛЕРОМЕТРА НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО
Л.А. Шлеенкин, Р.П. Булычев, В.А. Дубицкий 29

МИКРООПТОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ УСКОРЕНИЯ НА ОСНОВЕ «ГРУБО-ТОЧНОГО» МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ
В.И. Бусурин, К.А. Коробков, Н.А. Кошеварова..... 30

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НАНЕСЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ С ФИГУРНЫМ АНОДОМ
Ю.В. Литовка, А.А. Ефимов 31

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ «УМНОГО ДОМА»
О.Ю. Марьясин..... 32

АВТОКОЛЕБАНИЯ В ОДНОГО КЛАССА МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ СИСТЕМАХ
О.М. Державин, Д.А. Легошин, Е.Ю. Сидорова 33

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЕ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ ОПЕРАТОРА БПЛА
Э.С. Аревшатын, Н.В. Павлова..... 34

| | |
|---|----|
| ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ Д.Ю. Муромцев, И.В. Тюрин, Р.А. Токарев | 35 |
| ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ ОТВЕРЖДЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ О.С. Дмитриев, А.А. Барсуков | 36 |
| СИНТЕЗ ГРУБОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ С ИДЕНТИФИКАТОРОМ СОСТОЯНИЯ А.Я. Лащев, В.В. Мешков..... | 37 |
| Секция 2 | |
| ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ, ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ В ОБЛАСТИ АДМИНИСТРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ И ЭКОНОМИКИ | |
| АЛГОРИТМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО СИНТЕЗА УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ НАЛИЧИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ А.Н. Грибков, Е.С. Полякова | 39 |
| АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В САЕ ПРОГРАММЕ ГЛАВНОГО РЕДУКТОРА ДВУХВИНТОВОГО ВЕРТОЛЕТА С УЧЕТОМ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ В.А. Крюков, А.В. Плясов, З.Т. Нгуен..... | 40 |
| ВНЕДРЕНИЕ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ПРОИЗВОДСТВО И.О. Рузняев, И.И. Кочегаров | 41 |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ИНТЕРВАЛЬНОГО ВИДА В ГРАФИЧЕСКОЙ СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ LABVIEW А.В. Коваленко, Нэй Мью Чжо, А.А. Лупачев..... | 42 |
| МЕТОДИКА ДЕКОМПОЗИЦИИ МОДЕЛИ ЭНЕРГОБЛОКА Е.Ю. Сидорова, А.Г. Соболева | 43 |
| АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ И УГЛОВОЙ ОРИЕНТАЦИИ САМОЛЕТА НА АЭРОДРОМНОЙ СТОЯНКЕ ПРИ ПОМОЩИ НАЗЕМНОГО КОЛЁСНОГО РОБОТА И.А. Никитенко, М.В. Ивакин..... | 45 |
| ЦИФРОВОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ В ЦТПО РТУ МИРЭА ДЛЯ УЧАЩИХСЯ ШКОЛ ГОРОДА МОСКВЫ Р.И. Александрова, М.А. Волкова | 45 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТА НА ВЕРОЯТНОСТЬ ЕГО РАСПОЗНАВАНИЯ НА НЕСКОЛЬКИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СНИМКАХ Р.Р. Садеков..... | 46 |
| ПОДГОТОВКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О ВЫПОЛНЕНИИ ПРОЕКТА УЛУЧШЕНИЯ ПРОЦЕССА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ С.С.С. Аль-Бусаиди, С.В. Пономарев..... | 47 |

| | |
|---|----|
| АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРА СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЕГО ЛИЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК А.А. Шишкин | 48 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫМИ ОБЪЕКТАМИ С ЗАПАЗДЫВАНИЯМИ Т.В. Ягодкина, А.Е. Джумагалиев, А.А. Ларин | 49 |
| Секция 3 | |
| СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ | |
| ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ХРОМОВОГО ПОКРЫТИЯ НА СФЕРИЧЕСКИХ УЗЛАХ М.В. Павлова, О.С. Юльметова, А.Г. Щербак | 51 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ В ГИРОПРИБОРОСТРОЕНИИ О.Н. Послянова, О.С. Юльметова, А.Г. Щербак..... | 52 |
| СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОЗОЛЯ В УСТРОЙСТВАХ ВОЗДУХООТВОДА Т.Г. Арутюнян, М.А. Кононов..... | 53 |
| СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОЗОЛЯ В УСТРОЙСТВАХ ВОЗДУХООТВОДА ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ СПЕКТРАЛЬНОЙ СЕЛЕКЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ М.А. Кононов, Н.В. Глебов | 54 |
| РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ В РЕАКТОРЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ЛАКОВ А.И. Гуменник, М.А. Кононов..... | 55 |
| СТЕНД НА БАЗЕ МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ОС ANDROID ДЛЯ АНАЛИЗА ИЗМЕРЕНИЙ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ И ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ НАВИГАЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ А.А. Ермолаев, Г.В. Смыков, А.Н. Пронькин..... | 56 |
| СИСТЕМА С ЛИНЕЙНО-КВАДРАТИЧНЫМ ГАУССОВСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ ПРИ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА А.А. Абакумов, Д.Н. Анисимов | 57 |
| ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРИЗНАКОВ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ НЕМИНИМАЛЬНО-ФАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ Ю.С. Александрова, Д.А. Баларев, О.С. Колосов, В.А. Короленкова, О.Д. Титова | 57 |
| КАЛИБРОВКА МАГНИТОМЕТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ Е.Л. Чехов | 59 |

| | |
|---|----|
| ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВВЕДЕНИИ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ В ЗАКОН УПРАВЛЕНИЯ Д.Н. Анисимов, А.А. Березина, С.М. Грязнов..... | 60 |
| РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОИСКА В ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЕ В.М. Беседин, Н.М. Хайбулаева..... | 61 |
| МЕТОДИКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ КАТУШКИ М.А. Белоусов, В.А. Васиньков, Д.Ю. Зобачев, К.В. Коффер..... | 61 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЗНОЙ ЧАСТИ СИГНАЛА УЛЬТРАЗВУКА КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ С.И. Герасимов, И.Н. Желбаков | 62 |
| СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ Л.С. Злыднева, В.Д. Демина, Р.Н. Исянов | 63 |
| СТРУКТУРНЫЙ МЕТОД ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ В ПРЕЦИЗИОННЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМАХ Т.С. Калашникова, С.А. Хризолитова..... | 64 |
| О НЕКОТОРЫХ ПОДХОДАХ К УПРАВЛЕНИЮ ВЫСОТОЙ ПОЛЕТА МУЛЬТИРОТОРНОЙ ПЛАТФОРМОЙ С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ К.Б. Гаврилин, И.С. Климов, Р.О. Шайкин..... | 65 |
| ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ МНОГОКАТОДНОЙ СИСТЕМЫ С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ СУММАРНОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ Ю.В. Литовка, А.А. Банников..... | 66 |
| СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПО КОСВЕННОМУ ПАРАМЕТРУ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЯ М.Я. Погребисский, А.С. Булгаков..... | 67 |
| ПОЛИГАРМОНИЧЕСКАЯ ЛИНЕАРИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ Т.В. Семеновко, Н.А. Сержант, Л.А. Осипов..... | 68 |
| ПОЛИГАРМОНИЧЕСКАЯ ЛИНЕАРИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ Н.М. Парфёнов | 69 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУПЕРЛЮМИНИСЦЕНТНОГО ВОЛОКОННОГО ИСТОЧНИКА НА ТОЧНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА Н.А. Трухова, М.А. Белоусов, М.В. Ременникова | 70 |

Секция 4

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ И УСТРОЙСТВА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

| | |
|--|----|
| АЛГОРИТМЫ ФИЛЬТРАЦИИ НИЖНИХ И ВЕРХНИХ ЧАСТОТ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ М.А. Бабочкин, О.С. Колосов, А.А. Кузнецова, О.И. Парфенова | 71 |
| КОНТРОЛЬ ДОСТОВЕРНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ А.О. Гурина, В.Л. Елисеев | 72 |
| ПРОБЛЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИСТЕМ С ПЕРЕКРЕСТНЫМИ СВЯЗЯМИ Д.Н. Анисимов, П.Д. Василькова..... | 73 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АРХИТЕКТУР, ПРИМЕНЯЮЩИХСЯ ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ С.В. Колпинский, В.Л. Елисеев..... | 74 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ОБФУСКАЦИИ ВЕКТОРНЫХ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ Е.А. Милюкова, В.Л. Елисеев..... | 75 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА МОДУЛИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ НА ТОЧНОСТЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ Д.Н. Анисимов, О.С. Медникова, Ю.А. Млюкова..... | 76 |
| ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА НА ДИНАМИКУ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ Д.Н. Анисимов, Д.О. Севидова, Е.В. Фёдорова | 77 |
| МНОГОКАНАЛЬНЫЙ НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР Ю.А. Быковцев..... | 78 |
| ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА В РЕЖИМЕ ОГИБАНИЯ РЕЛЬЕФА ДНА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ М.С. Рябинкин..... | 79 |
| ЧИСЛЕННЫЙ ОБРАТНЫЙ ВЫВОД НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В.В. Нижневский, М.Г. Матвеев..... | 80 |
| МЕТОД НЕЧЕТКИХ ОБЛАСТЕЙ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИЙ Т.В. Сивакова, В.А. Судаков | 81 |

Секция 5

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ И САМООБУЧЕНИЯ

| | |
|---|----|
| РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКОВ СИЛЫ И.И. Антонов, С.А. Канаев, О.В. Москаленко | 83 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРА СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЕГО ЛИЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК А.А. Шишкин | 84 |
| ВЛИЯНИЕ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ НА КАЧЕСТВО ОБУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОСЕТИ М.В. Ивакин, И.А. Никитенко | 85 |
| СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ В.В. Алексеев, А.В. Яковлев, М.В. Моисеева | 85 |
| ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ ПРАВИЛ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ АВТОНОМНЫМИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ А.О. Маркарян | 86 |
| Секция 6 | |
| СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ РАЗРАБОТКИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРИВОДА | |
| ИНВАРИАНТНОСТЬ ОПТИМАЛЬНОГО ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ УПРАВЛЕНИЯ К НАСТРОЙКЕ РУЛЕВОГО ПРИВОДА К.Г. Фаворский, Е.К. Фаворский | 88 |
| К ВОПРОСУ ВЫБОРА МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОРЕЗИСТИВНОЙ ТРИБОДИАГНОСТИКИ А.В. Селихов, В.В. Мишин, К.В. Подмастерьев | 89 |
| СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫХ МОДУЛЯТОРОВ В ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ П.А. Бурцев, С.А. Канаев, О.В. Москаленко | 90 |
| БЛОК УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ, ВХОДЯЩИЙ В СОСТАВ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА М.В. Грушичева, С.А. Канаев, О.В. Москаленко | 91 |
| ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ПРИВОДА С ДИАМЕТРАЛЬНОЙ ЛОПАСТНОЙ МАШИНОЙ И УПРАВЛЯЮЩИМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ Е.Н. Кутейникова, В.И. Лалабеков, С.Л. Самсонович | 92 |
| СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ В.В. Слепцов, А.Е. Аблаева, Динь Ба Фьонг, А.С. Комаров, А.А. Трошин | 93 |
| ЦИФРОВОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ДВУХФАЗНЫМ ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ Е.А. Дунич, С.С. Пенкин | 94 |

| | |
|--|-----|
| ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НА ПРИМЕРЕ СКАЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ Д.Ю. Кукишев..... | 95 |
| АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ В ПРЕЦИЗИОННЫХ ИТЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ А.А. Попов, С.А. Хризолитова..... | 96 |
| ПРОБЛЕМЫ КОМПОНОВКИ УПРАВЛЯЕМОГО МНОГООБОРОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЗАДВИЖКИ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА В.А. Крюков, А.В. Плясов, А.Н. Поликарпов..... | 97 |
| СПОСОБ ПЛАВНОГО ПУСКА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ В.Н. Мещеряков, А.И. Бойков, В.В. Пикалов..... | 98 |
| СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ГАЗОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РУЛЕВОГО ПРИВОДА С УЧЁТОМ И БЕЗ УЧЁТА ЗАВИСИМОСТИ ЖЁСТКОСТИ ОРГАНА УПРАВЛЕНИЯ ОТ ДАВЛЕНИЯ В ДВИГАТЕЛЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В.И. Лалабеков..... | 99 |
| ШИМ – ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С КОМБИНИРОВАННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ А.С. Полетаев..... | 100 |

Секция 7

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ АВИАКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

| | |
|--|-----|
| ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ПОСТРОЕНИЯ И ВЫБОР ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ЭЛЕКТРОРАКЕТНЫМИ ДВИГАТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ В.М. Кульков, Ю.Г. Егоров, С.О. Фирсюк..... | 101 |
| РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РАДИАЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНИКОВ ДЛЯ КРИОСТАТИРОВАНИЯ ФОТОПРИЕМНИКОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ Бугрова А.Д., Коржов К.Н., Куперштейн В.Б., Шабарчин А.Ф. | 102 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ БИНС НА ТОЧНОСТЬ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОВРЕЖДЕННОГО САМОЛЕТА Н.М. Нгуен, Р.Н. Басыров..... | 103 |
| ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЗАТРАТ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ КЛЮЧЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БОРТОВЫХ СИСТЕМ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В.А. Ламзин..... | 104 |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОЛЕТА ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОМ МЕХАНИЧЕСКОМ ПОВРЕЖДЕНИИ КРЫЛА В.М. Костюков, В.К. Чан..... | 105 |
| ИНЕРЦИАЛЬНО-ДОПЛЕРОВСКАЯ КОМПЛЕКСНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА Е.Р. Пушкарева, М.С. Рябинкин..... | 105 |

| | |
|--|-----|
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ИНТЕГРИРОВАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ СПУТНИКА ГЛОНАСС М.Д. Тумаев..... | 106 |
| КОМПЬЮТЕРНЫЙ АЛГОРИТМ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ТРАЕКТОРИИ ПРОДОЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ САМОЛЕТА Н.М. Нгуен, А.И. Волков, А.А. Гусев..... | 107 |
| ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛЕТНЫХ ИСПЫТАНИЙ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ Е.Г. Харин, И.А. Копылов, В.А. Копелович, Е.Б. Горский, В.Б. Ильин..... | 108 |
| СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОСАДКОЙ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АПАРАТА К.И. Дулкина, И.А. Ключина, Р.Н. Исянов..... | 109 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВОЗМУЩАЮЩИХ ФАКТОРОВ А.И. Заведеев..... | 110 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВ АТАКИ И СКОЛЬЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО СУДНА НА ОСНОВЕ БОРТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СВС, БИНС И СНС ПО МАТЕРИАЛАМ ЛЕТНЫХ ИСПЫТАНИЙ Е.В. Данилевич, А.Р. Евстратов, И.И. Кухаренко Е.М. Мошков, Б.К. Поплавский, Г.Н. Сироткин..... | 111 |
| ЛОГИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОГО ГРУППОВОГО ПОЛЕТА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ИСКЛЮЧАЮЩИЙ ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ИХ МАРШРУТОВ Д.А. Михайлин, А.В. Румакина..... | 113 |
| ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АСИММЕТРИИ НА ГРАНИЦЫ ФЛАТТЕРА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С.Г. Парафесь..... | 113 |
| ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ИЗУЧЕНИЮ СВОЙСТВ АЛГОРИТМОВ НАВИГАЦИИ НА БАЗЕ АВИАСИМУЛЯТОРА FLIGHTGEAR А.Н. Пронькин, М.А. Гайдай..... | 114 |
| ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ИЗУЧЕНИЮ СВОЙСТВ АЛГОРИТМОВ НАВИГАЦИИ НА БАЗЕ АВИАСИМУЛЯТОРА FLIGHTGEAR РЕГУЛИРОВАНИЕ АСИММЕТРИИ ТЯГИ ТРД МАГИСТРАЛЬНОГО САМОЛЁТА В ПОЛЁТЕ В.М. Новичков, А.Ю. Бурова..... | 115 |
| СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ПОЛЕТА КВАДРОКОПТЕРА А.А. Морозов..... | 117 |
| КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНСТРУКЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА А.Б. Гусейнов, Г.А. Носов..... | 118 |

| | |
|--|-----|
| ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОМПОНОВКИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА УРОВНЯ ГО Е Вин Тун..... | 119 |
|--|-----|

Секция 8

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ И СЕТЯХ

| | |
|--|-----|
| ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА УРОВНЯ ГОРОДСКОГО ШУМА С ВЫЯВЛЕНИЕМ НЕНОРМИРОВАННЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЧЕЛОВЕКА М.А. Кононов, Н.А. Маркин, В.Н. Воронина | 120 |
| ИНТЕГРАЦИЯ WIFI/GSM МОДУЛЯ В ЛОГИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ БЫТОВЫХ ПРИБОРОВ С.Ф. Мирсаитов, А.М. Тимофеев..... | 121 |
| КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ РЕШЕНИЙ ДВУХ БЕСКАРДАННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ, УСТАНОВЛЕННЫХ НА СТОПЫ, ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НАВИГАЦИИ ПЕШЕХОДА А.В. Брагин, Ю.В. Болотин..... | 122 |
| ЗАДАЧА КОРРЕКЦИИ БЕСКАРДАННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПОМОЩИ ДАННЫХ ОТ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ДВУХАНТЕННОЙ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В.М. Железнов, А.А. Голован..... | 123 |
| ОЦЕНКА РАССИНХРОНИЗАЦИИ ПОКАЗАНИЙ ГИРОСКОПОВ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ Ф.С. Капралов, А.В. Козлов | 124 |
| ЗАДАЧА НАЧАЛЬНОЙ ВЫСТАВКИ БЕСКАРДАННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА КАЧАЮЩЕМСЯ ОСНОВАНИИ П.Ю. Кузнецов, А.А. Голован..... | 125 |
| СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОЗИЦИОННЫХ И СКОРОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ ИНТЕГРАЦИИ ИНС-ГНСС В ЗАДАЧЕ ВЕКТОРНОЙ АЭРОГРАВИМЕТРИИ Г.И. Мызников, В.С. Вязьмин | 126 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ И СКОРОСТИ ОБЪЕКТА ПРИ ПОМОЩИ КОДОВЫХ, ДОПЛЕРОВСКИХ И ФАЗОВЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ. ДЕКОМПОЗИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ Д.И. Смольянов, А.А. Голован..... | 127 |
| НАВИГАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА БАЗЕ ARDUINO А.А. Клопков, И.М. Кузнецов | 128 |
| ТЕХНОЛОГИЯ УСТРАНЕНИЯ ВЛИЯНИЯ УСКОРЕНИЯ НА ПОКАЗАНИЯ МЭМС-ГИРОСКОПОВ А.А. Крылов..... | 129 |

| | |
|--|-----|
| АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВИАЦИОННОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ А.А. Афонин, Г.Г. Ямашев, Н.А. Шаповалов, И.С. Антипят | 130 |
| АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НОВОЙ МОДИФИКАЦИИ ТРЕХКОМПОНЕНТНОГО ИНФОРМАЦИОННО-ИЗБЫТОЧНОГО МОДУЛЯЦИОННОГО ДАТЧИКА КАЖУЩЕГОСЯ УСКОРЕНИЯ А.А. Афонин, А.С. Сулаков, Нгуен Хонг Куан..... | 131 |
| АНАЛИЗ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА С ПОМОЩЬЮ ПРОЦЕДУРНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МЕТРИК А.И. Зелинская, И.В. Саурский..... | 132 |
| ВЛИЯНИЕ ПЕРЕХОДНОГО СЛОЯ В КОНСТРУКТИВЕ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ИХ ДИНАМИЧЕСКИЕ И ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ С.И. Герасимов, В.Д. Глушнев, И.Н. Желбаков, М.М. Панов..... | 133 |
| АПРОБАЦИЯ ТЕРМИНАЛЬНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ М.Р. Гусманова | 134 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРВАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ ДЛЯ МОДЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА Е.А. Еlicheва, А.А. Лупачев | 135 |
| ПЕРЕХОДНОЙ СЛОЙ В КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЖИДКОСТНОГО РАСХОДОМЕРА КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ИЗЛУЧАЕМОЙ ЭНЕРГИИ В ИССЛЕДУЕМУЮ СРЕДУ С.И. Герасимов, В.Д. Глушнев, И.Н. Желбаков, М.М. Панов..... | 136 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ДАННЫХ В УДАЛЕННЫХ СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В.С. Марковский | 137 |
| ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МЭМС-КНИМТ ТЕНЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ В ЖЁСТКИХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ Л.В. Соколов..... | 138 |
| ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА А.В. Савкин..... | 139 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СЛОЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОЭФФИЦИЕНТА СТРУКТУРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ А.В. Яковлев | 140 |
| АНАЛИЗ ЭНЕРГОЗАТРАТ В СЕТИ LORAWAN Н.В. Степанов..... | 142 |

| | |
|---|-----|
| О ТРЕХСЛОЙНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРАХ БАТТЕРВОРТА Ю.И. Худак, Д.В. Парфенов, И.А. Ахмедов | 143 |
| ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ АНАЛОГОВЫХ БЛОКОВ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ВНЕШНИХ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ Т.И. Чернышова, Р.Ю. Курносков | 145 |
| Секция 9 | |
| НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ РАЗНОФОРМАТНОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ | |
| ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ СИСТЕМ ПРИ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ ОБЪЕКТА К.Г. Фаворский, Е.К. Фаворский | 147 |
| ОСОБЕННОСТИ ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ ДЛЯ УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ А.П. Величко, В.В. Гаврилушкина | 148 |
| РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ГЕНЕРАТОРА ПУЛЬМОНОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С.А. Канаев, А.С. Конькова, М.Ю. Молозина, О.В. Москаленко, А.В. Торчинская | 149 |
| ПРОГРАММА МНОГОУРОВНЕВОЙ ПОРОГОВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ИЗ ОТТЕНКОВ СЕРОГО ПО МЕТОДУ АРИФИНА И.Г. Ханьков | 150 |
| ПРОТОТИПИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СИНТЕТИЧЕСКОГО ВИДЕНИЯ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ГРАЖДАНСКИХ САМОЛЁТОВ Е.С. Неретин, С.А. Дяченко, Е.М. Мамкин | 151 |
| ЗАДАЧА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ МИКРОЭНЕРГОСИСТЕМОЙ А.К. Абд Эльрахим, В.А. Шихин | 152 |
| СИСТЕМА ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О ПАРАМЕТРАХ ДВИЖЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ, ПОЛУЧЕННОЙ ПО ЦИФРОВОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ В.А. Лубенец, А.С. Холоднов, Б.В. Кошелев | 153 |
| ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГРАММНЫХ СТРАТЕГИЙ СБЛИЖЕНИЯ-УКЛОНЕНИЯ ГРУППЫ ИЗ ДВУХ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ В КОНФЛИКТНОЙ СИТУАЦИИ А.А. Балакин, О.А. Тягунов | 154 |
| РАЗРАБОТКА И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МОДУЛЬНОЙ ПРЕЦЕДЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ ДАННЫХ П.Р. Варшавский, Р.В. Алехин, Т.О. Блашонков, И.Е. Мухачева, С.А. Поляков | 155 |

| | |
|--|-----|
| РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЙ С ГРАФИКОЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ А.О. Волк..... | 156 |
| КЛИЕНТ-СЕРВЕРНЫЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ Л.А. Белобжеский, Р.Э. Лалаянц..... | 157 |
| РАЗРЕШЕНИЕ ЦЕЛОЧИСЛЕННОЙ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ ФАЗОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В МУЛЬТИАНТЕННОЙ ГИРОСПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ОГРАНИЧЕННОЙ ВИДИМОСТИ СПУТНИКОВ М.В. Жарков, Р.В. Жарков..... | 158 |
| АСИНХРОННЫЕ АВТОМАТНЫЕ СХЕМЫ Г.А. Калинина, Ю.Е. Мороховец..... | 159 |
| СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ РОБОТОМ Е.А. Климова, М.С. Комарова, Р.Н. Исянов..... | 160 |
| ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРВАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ К.С. Куликова, Нэй Мью Чжо, А.А. Лупачев..... | 161 |
| МЕТОД И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО ВОДЯНОГО ЗНАКА Н.В. Малышева, Р.Н. Исянов..... | 162 |
| МЕТОД И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО ВОДЯНОГО ЗНАКА О НЕКОТОРЫХ ПОДХОДАХ К ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОДЛИННОСТИ ЗАЩИЩЁННОЙ ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ ПОСРЕДСТВОМ АНАЛИЗА ФОТОИЗОБРАЖЕНИЙ И.Н. Завольский..... | 163 |
| КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕГРИРОВАННАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА СУДНА-НОСИТЕЛЯ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ Л.А. Колганов..... | 164 |
| СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ АНАЛИЗА ЛЕТНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ВЫВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ М.А. Фролов, С.В. Полухин, В.В. Бондяшов..... | 165 |
| МОБИЛЬНЫЙ РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС НАЗЕМНОЙ КОЛЁСНОЙ ПЛАТФОРМЫ С БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ А.И. Черноморский, Д.А. Сурков, М.Б. Шумов, Э.Д. Курис..... | 166 |
| АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА ФИЛЬТРАЦИИ ДИСКРЕТНОГО МАРКОВСКОГО ПРОЦЕССА, ОПИСЫВАЕМОГО ФОРМИРУЮЩИМ ФИЛЬТРОМ ПОЛИНОМИАЛЬНОГО ТИПА В.А. Васильев, О.А. Степанов, В.А. Тупысев..... | 167 |

| | |
|--|-----|
| ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ ОБОЛОЧКИ ВРАЩЕНИЯ АППАРАТА ПРИ ДЕЙСТВИИ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В ЖИДКОСТИ И.К. Туркин..... | 168 |
| СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ НИЗКОПЛОТНОСТНЫХ КОДОВ А.А. Фоминых..... | 169 |
| ОПТИМИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА В РЕЖИМЕ ЗАДАННОЙ СКОРОСТИ, ПОСТРОЕННОЙ С ПОМОЩЬЮ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ЗАКОНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ В.Д. Бабишин, В.В. Некрасов, К. А. Соседко..... | 170 |
| ПЛАТФОРМА ДЛЯ СТЕНДОВОЙ ОТРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ В.Н. Колбасов, А.А. Мясников | 171 |
| Секция 10 | |
| ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИКЛАДНОЙ И ГУМАНИТАРНОЙ СФЕРЕ | |
| РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ В ЗОНЕ ТРЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЭНДОПРОТЕЗА А. Гордюшин, В.Н. Сквепень..... | 172 |
| ОЦЕНКА УРОВНЯ СИГНАЛА МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ПРИ ЦИФРОВОЙ ДИАФАНОСКОПИИ ВЕРХНЕЧЕЛЮСТНЫХ ПАЗУХ НОСА Е.О. Брянская, Р.Ю. Гнеушев, А.Г. Букин, В.В. Дрёмин, И.Н. Маковик | 173 |
| МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ КОЖНОЙ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ В ДИНАМИКЕ ЛЕЧЕНИЯ ПСОРИАЗА А.К. Королева, М.А. Филина, Д.Д. Ставцев, М.А. Мезенцев | 174 |
| ВОЗМОЖНОСТЬ ДИАГНОСТИКИ ГРАНИЦ НОВООБРАЗОВАНИЙ МЕТОДОМ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ Д.Д. Ставцев, Е.С. Серёгина, К.Ю. Кандурова, В.В. Шуплецов | 175 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗРАСТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ УСЛОВНО ЗДОРОВЫХ ДОБРОВОЛЬЦЕВ Ю.И. Локтионова, Е.В. Жарких, И.О. Козлов, Е.А. Жеребцов, А.И. Жеребцова | 176 |
| МИКРОФЛЮИДНЫЕ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОЖИДКОСТЕЙ Г.А. Зенченко, А.В. Торчинская..... | 177 |
| УСТОЙЧИВОСТЬ СТАЦИОНАРНЫХ ДВИЖЕНИЙ ГИРОСТАТА Д.А. Балашов | 178 |
| ПОСТРОЕНИЕ ОБЛАСТИ ДОСТИЖИМОСТИ ЛИНЕЙНОЙ ПРИВОДИМОЙ СИСТЕМЫ Д.И. Бугров..... | 179 |
| РЕГУЛЯРНАЯ И ХАОТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА МОДИФИЦИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АРНЕОДО И.А. Бережных | 180 |

| | |
|---|-----|
| МОДЕЛЬ ВОДЯНОГО КОЛЕСА ЛОРЕНЦА-МАЛКУСА С ГИСТЕРЕЗИСНЫМ ТРЕНИЕМ: СТАБИЛИЗАЦИЯ ХАОСА Е.А. Карпов, П.А. Мелешенко, О.А. Шеина | 181 |
| СИНХРОНИЗАЦИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ АВТОКОЛЕБАНИЙ ОСЦИЛЛЯТОРА ВАН ДЕР ПОЛЯ В СИСТЕМАХ С ГИСТЕРЕЗИСНЫМИ ЗВЕНЬЯМИ О.О. Решетова | 182 |
| ДИНАМИЧЕСКИЙ ОТКЛИК ДИСКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ СИНУС-ГОРДОНА С ГИСТЕРЕЗИСНЫМИ СВЯЗЯМИ А.В. Толкачев | 183 |
| СТОХАСТИЧЕСКАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ И.И. Ульшин, В.С. Ножкин..... | 184 |
| МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА ВИДОВ БИЗНЕС - ДЕЯТЕЛЬНОСТИ Р.М. Акчурин | 185 |
| ОПИСАНИЕ МЕХАНИЗМА ДВУХЭТАПНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФОНДА ФИНАНСИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АГЕНТОВ С ЦЕНТРОМ М.Х. Дорри..... | 186 |
| МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКАЯ БАЗА ДАННЫХ ПО ПРИБОРНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 1С:ПРЕДПРИЯТИЕ И MS SQL SERVER Л.А. Белобжеский, О.А. Шевцов..... | 187 |
| ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНЫХ ЛЭП И.В. Жандарский, В.А. Шихин | 188 |
| СПЕЦИФИКА ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЙ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА КАК НЕМИНИМАЛЬНО-ФАЗОВОГО ОБЪЕКТА О.С. Колосов, В.А. Короленкова, О.Д. Титова, Д.В. Хрипков, М.В. Зуева, И.В. Цапенко | 189 |
| ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АВАРИЙ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ А.А. Коршикова, А.Г. Трофимов..... | 190 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТА DOC2VEC В ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВ В.В. Купоренков, А.С. Мохов..... | 191 |
| ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ КОМБИНИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ Д.В. Михеева, В.А. Ломов..... | 192 |
| РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗАЗОРА ВЫПУСКНОГО ОТВЕРСТИЯ НАПОРНОГО УСТРОЙСТВА М.С. Приказчиков, О.В. Ермилина | 193 |

| | |
|---|-----|
| ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТРИК ПРИ ОЦЕНКЕ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ СТУДЕНТОВ БАЗОВОЙ КАФЕДРЫ <i>И.В. Саурский, С.В. Сеницын</i> | 194 |
| ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТРИК ПРИ ОЦЕНКЕ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ СТУДЕНТОВ БАЗОВОЙ КАФЕДРЫ РАЗРАБОТКА ЕДИНОЙ СРЕДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ КЛЮЧЕВЫХ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА <i>С.К. Колдасова, О.М. Брехов</i> | 195 |

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК