

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
Московский технологический университет «МИРЭА»
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
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

*Главный координатор конференции –
Тамбовский государственный технический университет*

XXVII Международная научно-техническая конференция
**«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ, АВТОМАТИКИ И
ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ»**

Сборник трудов

**г. Алушта, Республика Крым, Россия
14 – 20 сентября 2018 г.**



**Тамбов
Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2018**

УДК 681.51+002.5:004
ББК 67.91
С56

Организационный комитет конференции:

Сопредседатели оргкомитета:

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

Члены оргкомитета:

О. А. Степанов – ЦНИИ «Электроприбор»
Ю. Г. Следков – МАИ
В. Д. Ивченко – МИРЭА
А. Д. Семенов – ПГУ
О. С. Колосов – МЭИ
Д. Ю. Муромцев – ТГТУ

С56 **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. 280 с. 500 экз.
ISBN 978-5-8265-1922-6

Включены тезисы докладов, представленных на XXVII Международной научно-технической конференции в городе Алушта (Республика Крым, Россия), посвященные широкому кругу вопросов современных технологий управления и обработки информации, с привлечением большого числа специалистов, и, в первую очередь, молодых ученых и аспирантов.

УДК 681.51+002.5:004
ББК 67.91

*Материалы предоставлены в электронном варианте и сохраняют авторскую редакцию.
Организаторы конференции и редакция не несут ответственности
за содержание предоставленных авторами материалов.*

ISBN 978-5-8265-1922-6

© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский авиационный институт» (МАИ), 2018.
© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2018

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель комитета:

Ю. А. Равикович – проректор МАИ по научной работе, профессор, д-р техн. наук

Члены комитета:

Ю. Г. Следков – директор института № 3 МАИ, доцент, канд. техн. наук
К. К. Веремеенко – зам. директора института № 3 МАИ, доцент, канд. техн. наук
В. М. Лохин – зам. заведующего кафедрой МИРЭА, профессор, д-р техн. наук
А. М. Загребаев – заведующий кафедрой кибернетики МИФИ, доцент, канд. техн. наук
А. Д. Семенов – профессор ПГУ, д-р техн. наук
О. С. Колосов – профессор МЭИ, д-р техн. наук
В. М. Рыбин – заведующий кафедрой МИФИ, д-р техн. наук
В. А. Нестеров – профессор МАИ, д-р техн. наук
В. В. Слепцов – профессор МИРЭА, д-р техн. наук
С. Л. Самсонович – профессор МАИ, д-р техн. наук
Л. Д. Певзнер – заведующий кафедрой НИТУ МИСиС, профессор, д-р техн. наук
О. А. Степанов – зам. заведующего кафедрой, профессор ИТМО, д-р техн. наук;
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»»
И. К. Туркин – заведующий кафедрой МАИ, профессор, д-р техн. наук
С. С. Лемак – профессор МГУ, д-р физ.-мат. наук
А. В. Шаронов – заведующий кафедрой МАИ, профессор, д-р техн. наук
А. В. Зайцев – профессор ВА РВСН, д-р техн. наук
В. К. Гарипов – профессор МИРЭА, д-р техн. наук
М. П. Романов – декан, профессор МИРЭА, д-р техн. наук
Н. А. Прокофьев – доцент МЭИ, канд. техн. наук
А. А. Ключарев – доцент ГУАП, канд. техн. наук
И. В. Белоконов – профессор СГАУ, д-р техн. наук
К. В. Подмастерьев – профессор ГУ-УНПК (г. Орел), д-р техн. наук
А. И. Черноморский – профессор МАИ, канд. техн. наук
М. Г. Матвеев – заведующий кафедрой ВГУ, профессор, д-р техн. наук
В. В. Алексеев – заведующий кафедрой ТГТУ, профессор, д-р техн. наук
А. Н. Грибков – заведующий кафедрой ТГТУ, доцент, д-р техн. наук

Е. Г. Харин, д-р техн. наук, проф., действительный член Международной «Академии навигации и управления движением», нач. отделения,
И. А. Копылов, д-р техн. наук, действительный член Международной «Академии навигации и управления движением», зам. нач. отделения,
В. А. Копелович, нач. лаборатории, **В. Г. Поликарпов**, нач. сектора,
А. В. Ясенюк, канд. техн. наук, нач. лаборатории (ГНЦ РФ, АО «Летно-исследовательский институт имени М. М. Громова», Жуковский, Россия, e-mail: nio9@lii.ru)

ТРАЕКТОРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ПРИ ЛЕТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Аннотация. Для решения различных задач, стоящих перед летными испытаниями летательного аппарата (ЛА) и его бортового оборудования, необходимо определение траекторных параметров ЛА с высокой точностью. В последние годы траекторные параметры ЛА формируются преимущественно на основе данных дифференциального режима работы спутниковой навигационной системы. В докладе показывается, каким образом летные испытания обеспечиваются траекторными измерениями при решении специальных задач, требующих привлечения дополнительной информации.

Ключевые слова: траекторные измерения, летные испытания, спутниковая навигационная система.

Ye. G. Kharin, I. A. Kopylov, V. A. Kopelovich, V. G. Polikarpov, A. V. Yasenok
(JSC «M. M. Gromov Flight Research Institute», Zhukovsky, Russia)

TRAJECTORY MEASUREMENTS FOR SPECIAL TASKS IN FLIGHT TESTS

Abstract. Flight support facilities based on satellite technologies have extended the range of tasks to be performed in flight tests. The paper considers the problem of organizing and performing trajectory measurements needed to carry out aircraft shipboard landing tests, to provide a flight experiment aimed at evaluating the capabilities of the Ilyushin 96-400T used as a tanker aircraft also to estimate the navigation equipment work athighlatitudes.

Index terms: trajectory measurements, flight tests, satellite navigation system.

Введение

В Летно-исследовательском институте имени М. М. Громова в последние годы создана комплексная система обеспечения, предназначенная для оценивания характеристик бортового оборудования ЛА. Система производит регистрацию информации бортовых систем, определение траекторных параметров летательного аппарата, синхронизацию информации бортовых систем и траекторных параметров, анализ материалов летных испытаний. Комплексная система широко применяется при проведении летных испытаний ЛА различных типов. Ядром системы является разработанный в ЛИИ им. М. М. Громова комплекс бортовых траекторных измерений (КБТИ) [1].

Определение траекторных параметров ЛА в комплексной системе обеспечения летных испытаний основано на использовании измерений спутниковых навигационных систем (СНС) ГЛОНАСС/GPS. Встраивание в бортовой блок

КБТИ приемника СНС и разработанное специализированное программно-математическое обеспечение наделяют комплекс функциями средства измерений. Траекторные параметры ЛА формируются в КБТИ на основе данных приемника СНС в автономном и дифференциальном режимах работы, а также с помощью комплексной обработки информации приемника СНС и бортовой инерциальной навигационной системы.

Для получения данных дифференциального режима СНС в зоне проведения летных испытаний ЛА размещается наземная базовая контрольно-корректирующая станция (БКС). В состав БКС входит приемник СНС, аналогичный встроенному в бортовой блок КБТИ. Антенна приемника СНС из состава БКС размещается в точке с известными геодезическими координатами. Информация приемника СНС на БКС накапливается в ПЭВМ. Данные дифференциального режима СНС формируются в послеполетной обработке материалов летных испытаний.

Точность траекторных параметров ЛА, вычисленных с помощью дифференциального фазового режима СНС, достаточно высока. Погрешность определения координат дифференциального режима СНС с вероятностью не ниже 0,95 не превышает 0,7 м, погрешность по каждой составляющей вектора скорости ЛА – 0,2 м/с.

Спектр задач, решаемый с помощью комплексной системы обеспечения в процессе летных испытаний, постоянно расширяется. Для проведения траекторных измерений в ряде специальных задач, стоящих перед летными испытаниями, необходимо использовать дополнительные организационные и технические мероприятия. В работе рассматриваются три задачи летных испытаний, в которых обеспечение траекторными параметрами ЛА происходило различными способами с привлечением дополнительной информации: полет самолета в окрестности Северного полюса Земли, исследование возможности подхода к самолету-заправщику для проведения дозаправки в воздухе, оценивание радиотехнических средств обеспечения посадки на палубу корабля.

Проведение траекторных измерений в высоких широтах

В 2017 году на дальнем магистральном самолете были проведены исследования по определению особенностей работы навигационного оборудования в высоких широтах [2]. В районе Северного полюса Земли установить базовую контрольную станцию не представляется возможным. Для оценивания погрешностей навигационных систем необходимо производить траекторные измерения летательного аппарата. В качестве действительных значений траекторных параметров использовались данные стандартного (абсолютного) режима работы приемника СНС из состава бортового блока КБТИ.

Для обоснования состоятельности данных стандартного режима приемника СНС из состава КБТИ в полетах в районе Северного полюса Земли был проведен дополнительный анализ. Оценивание осуществлялось с помощью сформированных данных дифференциального режима работы аппаратуры СНС. В настоящее время

на территории РФ развернута сеть базовых контрольных станций, сервис EFTCORS. Приемники СНС типа EFTRIS GNSS обеспечивают прием сигналов спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS/COMPASS/GALILEO. Данные БКС накапливаются с интервалом в 15 с и находятся в свободном доступе в Интернете.

Наиболее близким к Северному полюсу является расположение БКС на Кольском полуострове. Расстояние от нее до Северного полюса Земли – порядка 2200 км. Данные дифференциального режима формируются, если количество общих навигационных спутников, видимых одновременно антенной приемника СНС, установленной на фюзеляже самолета, и антенной приемника СНС из состава БКС не менее 4. При увеличении количества общих видимых спутников возрастает точность определения траекторных параметров летательного аппарата. Погрешность данных дифференциального режима СНС зависит от геометрического фактора расположения общих навигационных спутников. С увеличением расстояния d между летательным аппаратом и БКС может увеличиваться расхождение между условиями распространения сигнала в слоях ионосферы, что приводит к дополнительной погрешности в данных дифференциального режима СНС.

В таблице 1 приведено среднее количество общих видимых спутников в зависимости от удаления d антенн приемников СНС на объекте и БКС. Данные таблицы рассчитаны в предположении, что навигационные спутники каждой из группировок GPS и ГЛОНАСС распределены равномерно в околоземном пространстве. Результаты вычислений приведены в таблице для ряда значений удаления d .

Как видно из табл. 1, среднее количество общих видимых спутников убывает незначительно: на удалении 1000 км их уменьшается примерно на 1 для каждой из группировок и составляет 8,1 для GPS и 6,1 для ГЛОНАСС. Даже на удалении 3000 км количество общих видимых спутников равно 6,1 для GPS и 4,6 для ГЛОНАСС, что достаточно для решения навигационной задачи по измерениям спутников каждой из группировок.

**1. Среднее количество общих
видимых спутников в зависимости
от удаления d антенн приемников СНС**

d , км	Среднее количество общих видимых спутников	
	GPS	ГЛОНАСС
0	9,1	6,8
500	8,5	6,4
1000	8,1	6,1
2000	7,1	5,3
3000	6,1	4,6

После проведения полетов с использованием данных базовой контрольной станции на Кольском полуострове были вычислены данные дифференциального режима СНС. Координаты самолета по данным стандартного режима СНС отличались от данных дифференциального режима СНС не более чем на 6 м. Причем полученные разности координат в районе Северного полюса Земли по своим статистическим характеристикам были идентичны характеристикам соответствующих разностей при полете в других регионах.

Проведенный анализ показывает, что данные стандартного режима приемника СНС из состава КБТИ при анализе работы навигационных систем в высоких широтах состоятельны и могут быть приняты за действительные траекторные параметры самолета при оценивании работы бортовых навигационных систем в высоких широтах.

На борту дальнего магистрального самолета в испытательном полете оценивалось функционирование трех комплектов бесплатформенной инерциальной навигационной системы БИМС-Т и двух комплектов приемников спутниковой навигационной системы БПСН-2. Оценивание функционирования и точности работы в высоких широтах указанной навигационной аппаратуры являлось основной задачей летных испытаний.

Для исследований была выбрана следующая трасса полета. Взлет и посадка производились на аэродроме Раменское, продолжительность полета – порядка 12 ч, полет по параллели на широте 89° предусматривался в течение 20...25 мин (рис. 1).

Параметры оцениваемых навигационных систем регистрировались бортовым блоком КБТИ.

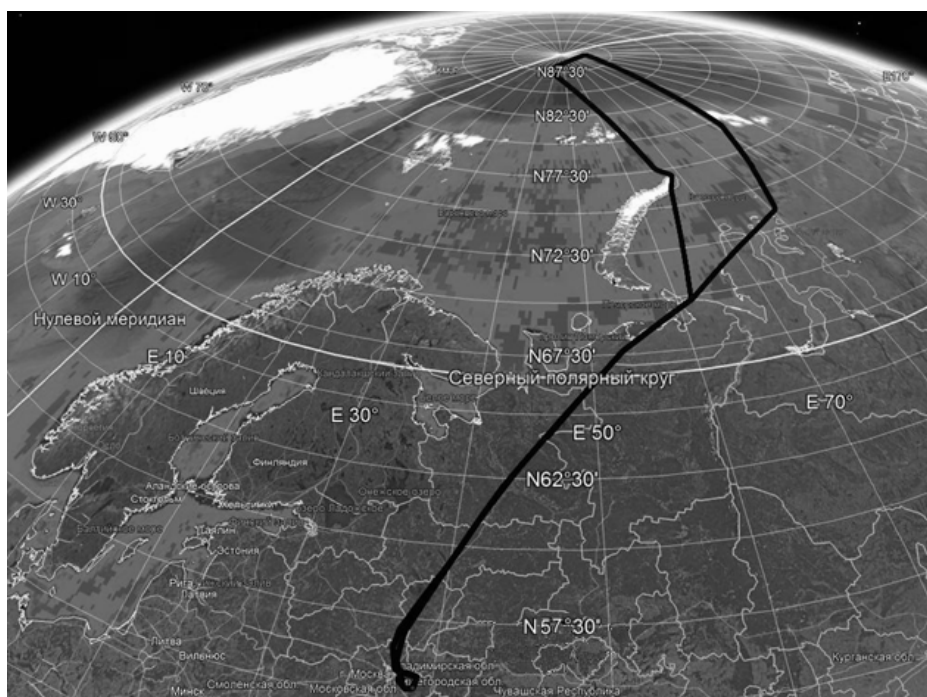


Рис. 1. Трасса испытательного полета в высокие широты

Обработка материалов летных испытаний производилась после полета. Выполнена оценка функционирования приемников спутниковой навигационной системы БПСН-2. Установлено, что оба комплекта БПСН-2 в условиях полета обеспечивают прием сигналов навигационных спутников систем ГЛОНАСС и GPS, определение навигационных параметров и выдачу необходимой информации потребителям. Во время полетов осуществлялся прием и обработка сигналов 7 – 12 спутников ГЛОНАСС и 8 – 15 спутников GPS.

При полете самолета на широте, близкой к 89° , количество спутников ГЛОНАСС так же, как и количество спутников GPS, было не менее 9. Никаких особенностей в значениях выдаваемых параметров спутниковыми навигационными приемниками при полете в районе Северного полюса Земли обнаружено не было.

Оценивание точности выдаваемых навигационных параметров БПСН-2 проводилось по разностям между соответствующими параметрами БПСН-2 и приемника СНС из состава КБТИ. При полете в районе Северного полюса так же, как и полетах на других широтах, среднее квадратическое отклонение разностей по широте и долготе для каждого из приемника СНС

не превышало 3 м, по высоте – 4 м. Разности по каждой из трех составляющих вектора скорости самолета не превышали по абсолютной величине 0,2 м/с, что свидетельствует о соответствии погрешности навигационных параметров БПСН-2 заданным требованиям.

Для каждого комплекта бесплатформенной инерциальной навигационной системы БИМС-Т с помощью программного комплекса «Эталон» [3], основанном на фильтре Калмана, вычислены погрешности выдаваемых навигационных параметров и инструментальные погрешности инерциальных датчиков. Погрешности оцениваемых параметров на протяжении всего полета не превышали заданных требований. Исключение составляют погрешности по составляющим вектора скорости, которые в районе Северного полюса выходили за установленные пределы. Изменения погрешностей координат БИМС-Т в районе Северного полюса происходили с относительно высокой скоростью. На рисунке 2 приведены погрешности координат всех трех комплектов БИМС-Т на протяжении полета. Погрешности северной и восточной составляющих БИМС-Т изображены на рис. 3. Прямыми линиями на рисунках обозначены заданные ограничения на параметры.

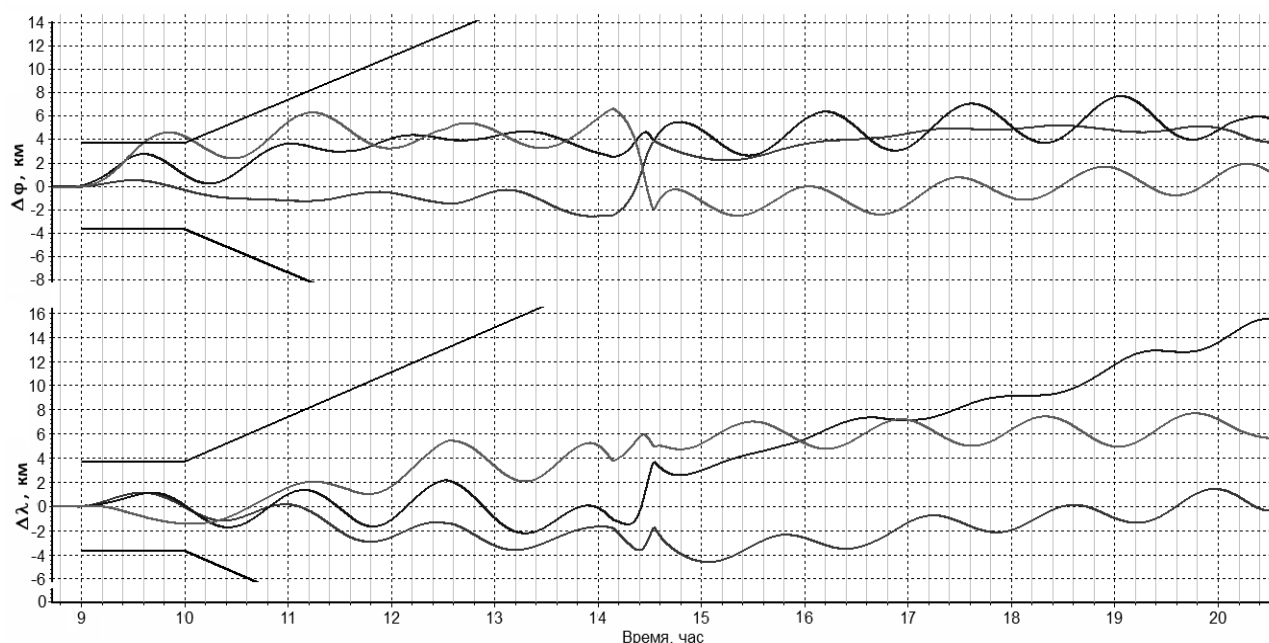


Рис. 2. Погрешности широты и долготы трех комплектов БИМС-Т на протяжении полета

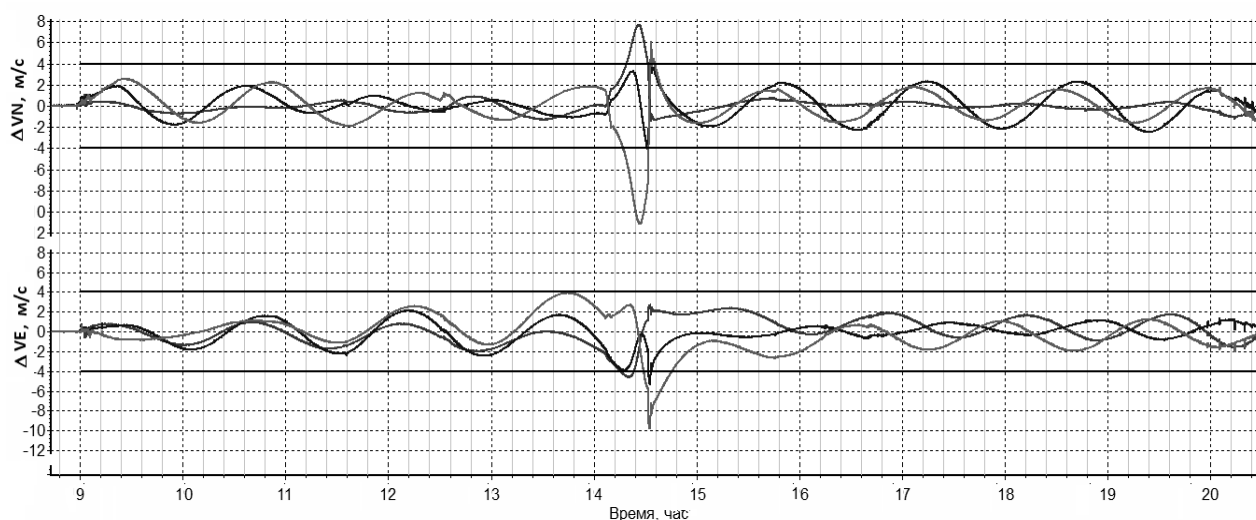


Рис. 3. Погрешности составляющих вектора скорости трех комплектов БИМС-Т на протяжении полета

Результаты исследований свидетельствуют о состоятельности предложенных методов оценки характеристик навигационных систем при полетах в высоких широтах.

Траекторные измерения при экспериментальных исследованиях возможности дозаправки от самолета-заправщика Ил-96-400Т

Выполнение дозаправки в воздухе является одним из способов повышения боевых возможностей самолетов. За счет дозаправки может быть существенно расширен радиус действия, увеличена продолжительность патрулирования и вес боевой нагрузки. Самолет Ил-96-400Т может нести топлива в 1,5 раза больше, чем существующие топливозаправщики. ПАО «Ил» совместно с АО «ЛИИ им. М. М. Громова» выполнены экспериментальные исследования, предназначенные для определения возможности использования самолета Ил-96-400Т в качестве заправщика в воздухе для самолетов разных типов. Роль заправляемого самолета в летных испытаниях выполнял самолет МиГ-29УБ. Основной вопрос, стоящий перед исследованиями, – определение зон возможного расположения заправляемого самолета при выполнении дозаправки в воздухе за самолетом Ил-96-400Т, в которых элементы конструкции заправляемого самолета не попадают в интенсивные вихревые течения, и

пилотирование заправляемого самолета не вызывает серьезных затруднений [4].

Обеспечение траекторных измерений, производимых для точного определения параметров движения обоих самолетов и их взаимного положения, потребовало проведения дооборудования самолетов. На борт самолета МиГ-29УБ был установлен блок КБТИ и прецизионная инерциально-спутниковая навигационная система (ИСНС), информация от которой регистрировалась комплексом КБТИ.

На борту самолета Ил-96-400Т был размещен бортовой блок КБТИ, связанный со штатной магнитной системой регистрации параметров (МСРП). Информация об угловом положении самолета выбиралась из набора параметров МСРП. Синхронизацию параметров МСРП и параметров траекторного движения выполнял КБТИ (рис. 4, 5).



Рис. 4. Вид из кабины МиГ-29УБ



Рис. 5. Вид из кабины другого самолета

Во время проведения летного эксперимента в районе испытательного аэродрома работала базовая контрольная станция из состава КБТИ для обеспечения дифференциального фазового режима.

В соответствии с полетным заданием после выхода в заданный район испытаний и занятия заданного эшелона на самолете Ил-96-400Т включался автопилот в режим стабилизации барометрической высоты, угла курса и автомат тяги для стабилизации скорости. После установления визуального контакта командир МиГ-29УБ выполнял сближение до удаления 100 м, снижал скорость полета, затем подходил к хвостовой части самолета Ил-96-400Т под разными углами и с различными относительными боковыми смещениями.

Для послеполетной обработки материалов выбирались траекторные параметры обоих самолетов, полученные на основе дифференциального фазового режима СНС КБТИ; параметры углового положения, угловые скорости, линейные ускорения самолета МиГ-29УБ, выдаваемые ИНС; параметры углового положения самолета Ил-96-400Т, извлеченные с МСРП. Учитывалась также экспертная оценка летчика самолета МиГ-29УБ.

В послеполетной обработке проводилась синхронизация координат двух самолетов и параметров бортовых инерциальных систем, выполнялся пересчет координат с использованием информации об угловом положении самолетов (углы курса, крена и тангажа) и местах установок антенн СНС на самолетах. В результате определялись координаты концевых точек самолета МиГ-29УБ в подвижной декартовой системе с началом координат в хвостовой части фюзеляжа самолета Ил-96-400Т; осью X , направленной вдоль путевой скорости танкера; осью Y , расположенной в вертикальной плоскости; и осью Z , дополняющей первые две оси до правого ортогонального трехгранника. Вычислялись расстояние D между самолетами и скорость их сближения $V_{отн}$. Пример обработки информации, полученной в летном эксперименте, показан на рис. 6.

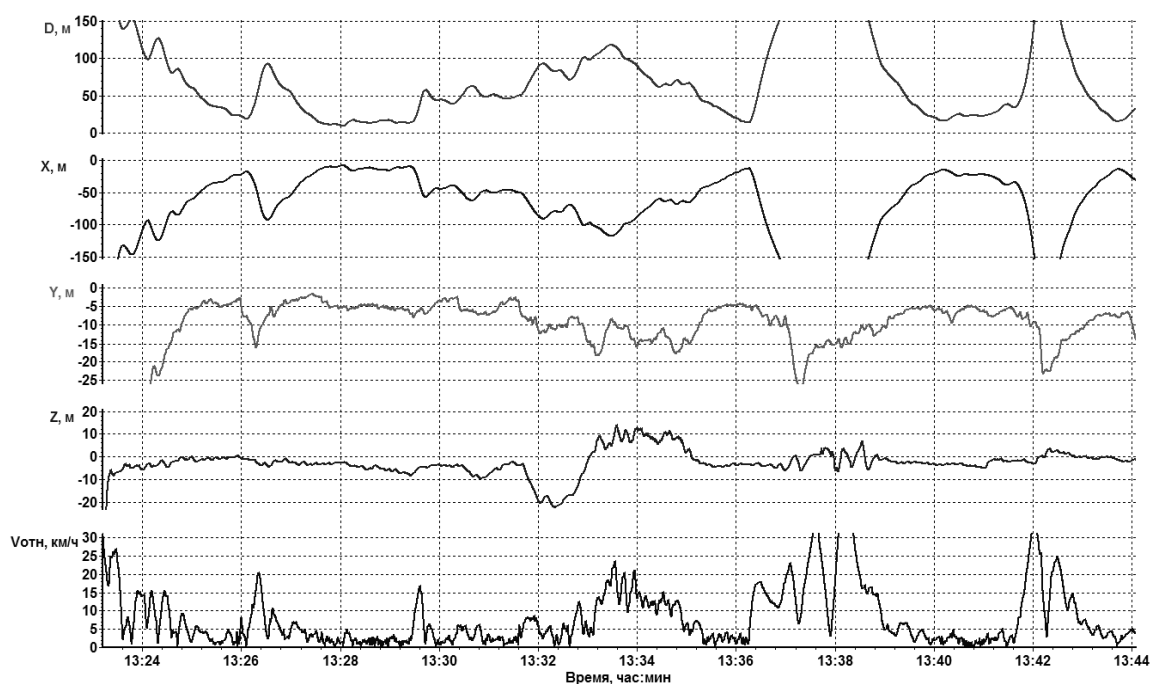


Рис. 6. Относительное положение (D, X, Y, Z) и скорость сближения ($V_{отн}$) самолетов

Минимальное расстояние между концевыми точками самолетов в рассматриваемом летном эксперименте составило 7,6 м.

При подходе к Ил-96-400Т вдоль оси самолета не было отмечено заметных возмущающих воздействий на МиГ-29УБ. По результатам выполненных теоретических расчетов и летных экспериментов сделан вывод о возможности продолжения исследований для получения заключения об использовании самолета Ил-96-400Т для дозаправки в воздухе самолетов различных типов.

Проведение траекторных измерений при посадке летательного аппарата на корабль

Посадка самолета на палубу корабля является одним из наиболее сложных и ответственных режимов полета. Особенности этого режима обусловлены изменениями динамических характеристик полета, высокими требованиями к точности выдерживания параметров движения и быстротечностью процесса посадки. Наряду с жесткими ограничениями продольного и бокового разбросов точки касания относительно ее расчетного значения, при посадке палубных самолетов должны строго выдерживаться значения воздушной и вертикальной скорости, углы крена, курса и тангажа. Выход за заданные пределы хотя бы одного из указанных параметров может привести к срыву посадки, уходу на второй круг или летному происшествию.

Заход на посадку и посадка палубных самолетов обеспечиваются комплексом радиотехнических средств корабля и комплексом бортовой аппаратуры самолета. Высокие требования к характеристикам режима посадки на корабль, в свою очередь, предъявляют повышенные требования к надежности и точностным характеристикам измерительной аппаратуры, которая используется при проведении летных испытаний. Объективность оценки характеристик элементов системы «самолет + корабль» во многом определяется точностными характеристиками относительных траекторных измерений в процессе летных испытаний.

В 2012 году на авианесущем крейсере «Викрамадитья» оценивалось выполнение посадок самолетов МиГ-29К/КУБ на палубу [5]. Для реше-

ния комплексной задачи определения траекторных измерений (координат и составляющих вектора скорости самолета и корабля) выполнена установка следующей аппаратуры сбора информации:

- на самолете был установлен бортовой блок КБТИ, в котором регистрировалась информация встроенного в него приемника СНС и систем комплекса бортового оборудования самолета;
- на корабле размещалась БКС;
- на аэродроме размещалась БКС, антенна приемника СНС которой находилась в точке с известными геодезическими координатами, накопленная информация приемника СНС использовалась в послеполетной обработке для формирования данных дифференциального фазового режима СНС (отдельно для самолета и корабля);
- на корабле штатными системами производилась регистрация информации радиотехнических систем обеспечения посадки и параметров навигационного комплекса корабля (рис. 7).

Приемники СНС, входящие в состав бортового блока КБТИ и БКС на аэродроме и корабле, обеспечивали прием двухчастотных сигналов ГЛОНАСС/GPS. Эта информация использовалась для определения параметров движения самолета и корабля в географической системе координат с помощью дифференциального фазового режима, обеспечивающего необходимую точность измерений для анализа посадки самолета на корабль.

Основными причинами, влияющими на точность измерений СНС, являлись погрешности принимающей аппаратуры и погрешности распространения радиосигналов, в том числе вызванные помеховой обстановкой в зоне расположения антенны приемника СНС. Поэтому особое внимание на этапе подготовки к проведению испытаний было уделено вопросу размещения антенны приемника СНС из состава БКС на палубе корабля, на которой расположены надстройки, металлические конструкции и излучающие антенны различных систем корабля.

Пересчет систем координат состоял в определении координат расчетной точки посадки и мест установки антенн радиотехнических средств корабельного комплекса в географической системе координат.

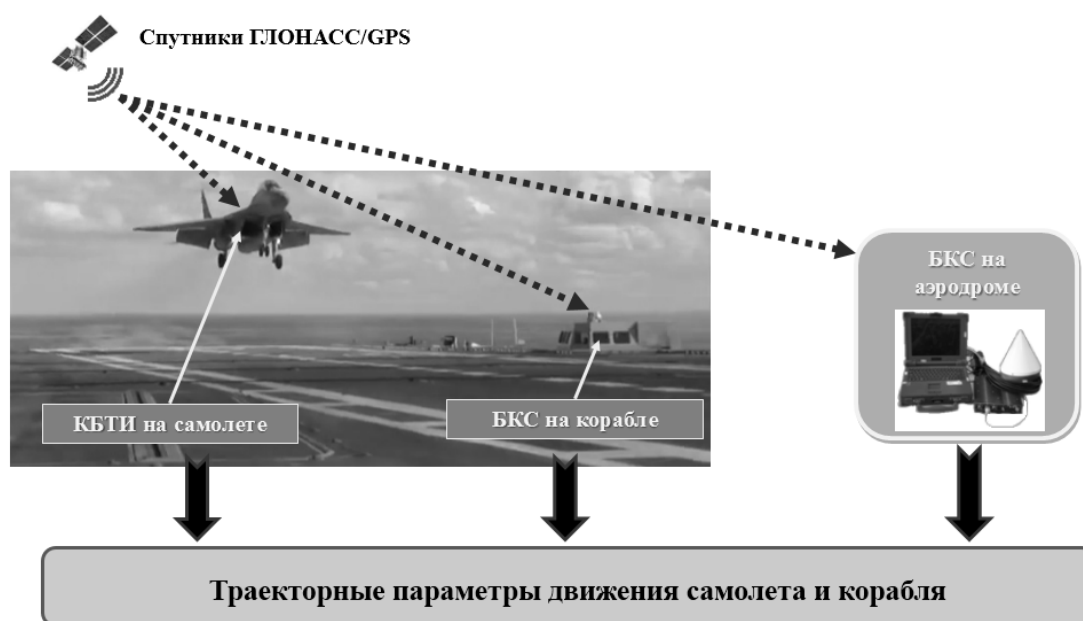


Рис. 7. Схема размещения оборудования для получения относительных траекторных параметров



Рис. 8. Структурная схема сбора, обработки и анализа информации при посадке на корабль

Пересчет проводился с учетом расположения антенн корабельного комплекса относительно места установки антенны БКС на корабле, а также курса корабля и параметров бортовой и килевой качки. Затем выполнялся расчет параметров движения самолета в декартовой системе координат с центром в расчетной точке посадки и вычисление действительных значений положения самолета (дальность, угол места и угол курса) относительно антенны оцениваемой сис-

темы корабельного комплекса. Особенность этих расчетов, по сравнению с оценкой посадки самолета на аэродром, заключалась в перемещении начала системы координат, связанном с движением и качкой корабля.

Структурная схема сбора, обработки и анализа информации представлена на рис. 8.

Проведенные испытания на авианесущем крейсере «Викрамадитья» подтвердили эффективность разработанной технологии опреде-

ния траекторных параметров. Выполнено сопровождение более 100 полетов самолетов МиГ-29К и МиГ-29КУБ. По материалам каждого полета проведена оценка функционирования и точности работы посадочных радиотехнических средств самолета и корабля.

Выводы

Комплексная система, созданная в Летно-исследовательском институте имени М. М. Громова, обеспечивает проведение траекторных измерений при решении различных задач, стоящих перед летными испытаниями летательных аппаратов.

Необходимые траекторные параметры летательного аппарата в процессе летных испытаний формируются с привлечением дополнительной информации при полете в окрестности Северного полюса Земли, измерения параметров положения одного самолета относительно другого, оценивания радиотехнических средств посадки самолета на палубу корабля.

Библиографический список

1. Харин Е. Г., Копылов И. А. Технологии летных испытаний бортового оборудования летательных аппаратов с применением комплекса бортовых траекторных измерений. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2012. 360 с.
2. Методы оценки характеристик навигационных систем при полетах в высоких широтах / Е. Г. Харин, И. А. Копылов, В. А. Копелович и др. // Юбилейная XXV Санкт-Петербургская Междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. 28 – 30 мая 2018 г. СПб., 2018. С. 164 – 167.
3. Харин Е. Г. Комплексная обработка информации навигационных систем летательных аппаратов: учеб. пособие. М.: Изд-во МАИ, 2002. 264 с.
4. Траекторные измерения на основе инерциально-спутниковых навигационных систем при экспе-

риментальных исследованиях возможности дозаправки от самолета-заправщика Ил-96-400Т / А. В. Ясенюк, Е. Г. Харин, И. А. Копылов и др. // XXIII Санкт-Петербургская Междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. 30 мая – 01 июня 2016 г. СПб., 2016. С. 234 – 240.

5. Технология проведения траекторных измерений при посадке летательного аппарата на корабль / П. Н. Власов, Е. Г. Харин, В. Г. Поликарпов и др. // XX Санкт-Петербургская Междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. 27 – 29 мая 2013 г. СПб., 2013. С. 298 – 303.

References

1. Kharin Ye., Kopylov I. *Technologiya ljetnykh ispytaniy bortovogo oborudovaniya letatelnykh apparatov s primeneniem kompleksa bortovykh traektornykh izmerenij*. M.: MAI-PRINT, 2012. 360 p.
2. **Metody** ocenki charakteristik navigacionnykh system pri poljetach v vysokich shirotach / Ye. Kharin, I. Kopylov, V. Kopelovich i dr. // Jubilee 25th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. 28 – 30 May 2018. SPb, Russia: CSRI «Electropribor». P. 164 – 167.
3. Ye. Kharin *Kompleksnaja obrabotka informacii navigacionnykh system letatelnykh apparatov*. M.: MAI, 2002. 264 p.
4. **Traektornye** izmerenija na osnove inercial'no-sputnikovyx navigacionnykh system pri eksperimental'nykh issledovaniyach vozmozhnosti dozapravki ot samoljeta-zapravchika Il-96-400T / Ye. Yasenok, I. Kharin, I. Kopylov i dr. // 23th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. 30 May – 01 June 2016. SPb, Russia: CSRI «Electropribor». P. 234 – 240.
5. **Technologija** providenija traektornykh izmerenij pri posadke letatel'nogo apparata na korabl / P. Vlasov, Ye. Kharin, V. Polikarpov i dr. // 20th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. 27 – 29 May 2013. SPb, Russia: CSRI «Electropribor». P. 298 – 303.

УДК 517.9

- М. Е. Семенов**^{1, 2, 3}, д-р физ.-мат. наук, проф. каф. цифровых технологий, проф. каф. математики, ведущий науч. сотр., e-mail: mkl150@mail.ru,
М. Г. Матвеев¹, д-р техн. наук, зав. каф. информационных технологий управления, e-mail: mgmatveev@yandex.ru,
П. А. Мелешенко^{1, 4}, канд. физ.-мат. наук, доц. каф. 122 средств связи (и авиационных комплексов связи), доц. каф. цифровых технологий, e-mail: melechp@yandex.ru,
А. М. Соловьев⁵, канд. физ.-мат. наук, нач. сектора НТЦ «ПВО-ПРО», e-mail: darkzite@yandex.ru,
О. О. Решетова¹, аспирант первого года обучения каф. цифровых технологий, e-mail: tribunskih1993@mail.ru,
Е. А. Карпов¹, студент каф. цифровых технологий, e-mail: believedream95@gmail.com)
¹ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Россия;
² ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук», Воронеж, Россия;
³ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Россия;
⁴ ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия;
⁵ АО «Концерн «Созвездие», Воронеж, Россия)

МОДЕЛИ СТАБИЛИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ С ГИСТЕРЕЗИСНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Аннотация. В работе рассмотрены модели различных систем с гистерезисными свойствами: обратный маятник с гистерезисным управлением, колебательная система с демпфирующим звеном гистерезисной природы и гармонический осциллятор, находящийся под воздействием гистерезисной возбуждающей силы. В рамках первой задачи проведено исследование обратного маятника с вертикально осциллирующим подвесом под воздействием управления гистерезисной природы. Для второй задачи проанализированы характеристики колебательной системы с демпфирующим звеном на основе материала Ишлинского. В рамках третьей задачи изучены резонансные свойства колебательной системы, в которой диссипация энергии обусловлена наличием гистерезисного звена.

Ключевые слова: гистерезис, перевернутый маятник, гистерезисный демпфер, материал Ишлинского, нелинейные колебания.

М. Е. Semenov^{1, 2, 3}, **М. G. Matveev**¹, **P. A. Meleshenko**^{1, 4}, **A. M. Solovyov**⁵, **O. O. Reshetova**¹, **E. A. Karpov**¹
¹(Voronezh State University, Voronezh, Russia),
²(Geophysical Survey of Russia Academy of Sciences, Voronezh, Russia),
³(Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia),
⁴(Zhukovsky-Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia),
⁵(JSC «Concern «Sozvezdie», Voronezh, Russia)

STABILIZATION AND CONTROL OF DYNAMICAL SYSTEMS WITH HYSTERETIC PROPERTIES

Abstract. In this work we consider the models of various systems with hysteretic properties, namely, an inverted pendulum under hysteretic control, oscillating systems with the damping device of hysteretic nature, and harmonic oscillator under affection of hysteretic nature. An inverted pendulum with a vertically oscillating suspension under the influence hysteretic control is studied. Characteristics of the oscillating system with a damping block modeled as an Ishlinsky material are described. Resonant properties of the systems in which the dissipation of energy is due to the presence of hysteretic part are investigated.

Index terms: hysteresis, inverted pendulum, hysteretic damper, Ishlinsky material, nonlinear oscillations.

Введение

Нелинейные зависимости гистерезисного типа возникают в задачах математического моделирования из самых разных предметных областей: в моделях систем автоматического регулирования [1], теории твердого тела, при описании экономических и биологических систем. Первые работы, посвященные изучению систем с гистерезисными нелинейностями, появились

в 1946 году [2]. В 1983 году появилась монография М. А. Красносельского и А. В. Покровского [3], в которой различные гистерезисные явления получили формальное описание в рамках теории систем. Особо отметим ряд результатов, полученных в этом направлении, а именно работу [4], в которой рассматривается динамика осциллятора с сильной (в том числе и гистерезисной) нелинейностью и устанавливается факт наличия

или отсутствия резонанса для систем с гистерезисом, в зависимости от амплитуды внешнего воздействия. Отметим также работу [5], посвященную диссипативным свойствам систем обыкновенных дифференциальных уравнений с гистерезисными нелинейностями, в которой доказывается, что в случае гармонического возбуждения осциллятора совместно с внешней гистерезисной силой, формализуемой посредством оператора Пре́йзаха, резонанс будет иметь место лишь для гармонического воздействия достаточно большой амплитуды.

В настоящей работе проводится исследование ряда динамических систем с гистерезисными нелинейностями. Первый раздел работы посвящен исследованию процессов стабилизации и управления перевернутым маятником посредством воздействия гистерезисной природы. Во второй части рассматриваются колебательные системы с демпфирующим звеном, модель которого формализуется посредством преобразователя Ишлинского, исследуются основные характеристики такой системы в терминах передаточных функций. В третьей части устанавливаются неожиданные закономерности в резонансных свойствах для относительно простой системы – гармонического осциллятора с гистерезисной внешней силой – существование неограниченных осциллирующих решений.

1. Обратный маятник с гистерезисным управлением: вертикальная осцилляция точки подвеса

Рассмотрим модель перевернутого маятника с осциллирующей нижней точкой подвеса [6, 7]. Основание маятника представляет собой физическую систему (P, S) , состоящую из цилиндра длины H и поршня P , которые перемещаются вдоль направления вертикальной оси (рис. 1.1).

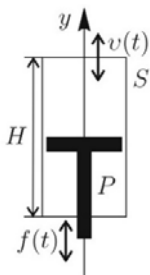


Рис. 1.1. Цилиндр в основании маятника

Положение поршня определяется координатой $f(t)$, а положение цилиндра координатой $v(t)$. Определим, что «ведущий» элемент в системе (P, S) – цилиндр P . В этом предположении системе (P, S) можно рассматривать как гистерезисный преобразователь люфт с входным сигналом $f(t)$ (положение поршня) и выходным сигналом $v(t)$ (положение цилиндра).

Предположим, что ускорение поршня периодически изменяется от $-a\omega^2$ до $a\omega^2$ с частотой ω . Линеаризованные уравнения движения такого маятника с безразмерными параметрами можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = p(\tau)x_1, \end{cases} \quad (1.1)$$

$$x(0) = x_{10}, x(0) = x_{20}.$$

Здесь фазовые координаты отвечают безразмерным координате и скорости маятника соответственно. Матрица системы (1.1) имеет вид

$$P(\tau) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ p(\tau) & 0 \end{pmatrix},$$

где $p(\tau) = k - sG(\tau, H)\text{sgn}(\sin \tau)$, k и s определяются параметрами системы, $\tau = \omega t$, а G – кусочно-постоянная функция, формализующая преобразователь-люфт. Матрица $P(\tau)$, является периодической функцией времени с периодом 2π , так что для любого момента времени τ справедливо равенство $P(\tau + 2\pi) = P(\tau)$. Ограниченность решений системы связана с собственными числами матрицы монодромии. В частности, для ограниченности достаточно, чтобы все они находились внутри единичного круга. Как было показано в [8] это условие эквивалентно неравенству

$$\begin{aligned} & \left| (2ch(2\sqrt{k}\Delta\tau)ch(k_1\gamma) + \left(\frac{\sqrt{k}}{k_1} + \frac{k_1}{\sqrt{k}}\right)sh(2\sqrt{k}\Delta\tau) \times \right. \\ & \times sh(k_1\gamma))\cos(k_2\gamma) + \left(\left(\frac{\sqrt{k}}{k_2} - \frac{k_2}{\sqrt{k}}\right)sh(2\sqrt{k}\Delta\tau) \times \right. \\ & \times ch(k_1\gamma) + \left(\frac{k_1}{k_2} - \frac{k_2}{k_1}\right)ch^2(\sqrt{k}\Delta\tau)sh(k_1\gamma) + \\ & \left. \left. + \left(\frac{k}{k_1k_2} - \frac{k_1k_2}{k}\right)sh^2(\sqrt{k}\Delta\tau)sh(k_1\gamma)\right)\sin(k_2\gamma) \right| < 2. \end{aligned} \quad (1.2)$$

Параметрам, удовлетворяющим неравенству (1.2), соответствуют почти периодические колебания маятника относительно неустойчивого верхнего положения равновесия, а множеству решений этого неравенства соответствуют так называемые зоны устойчивости движения маятника, аналогичные зонам устойчивости уравнения Мейснера.

2. Вибрационный гистерезисный демпфер на основе материала Ишлинского

Ниже рассматривается механическая система, находящаяся под действием вынуждающей периодической силы при наличии демпфирующего звена [9] (рис. 2.1). Механическая система состоит из цилиндра массой M , груза массой m , пружины с жесткостью k и демпфирующего звена D ,двигающегося без трения в горизонтальной плоскости. К цилиндру приложена вынуждающая сила $f(t)$ изменяющаяся по гармоническому закону.

Пусть закон изменения силы $f(t)$, приложенной к цилиндру M ,

$$f(t) = Y\omega^2 \sin(\omega t), \quad (2.1)$$

где Y – амплитуда; ω – частота воздействия.

Уравнение, описывающее динамику исследуемой механической системы в относительных величинах, будет иметь следующий вид:

$$\frac{d^2 u}{d\tau^2} + \alpha \mathbf{W}[\tau, z_j(\tau)]u + u = A\Omega^2 \sin(\Omega\pi), \quad j = \overline{1, N}, \quad (2.2)$$

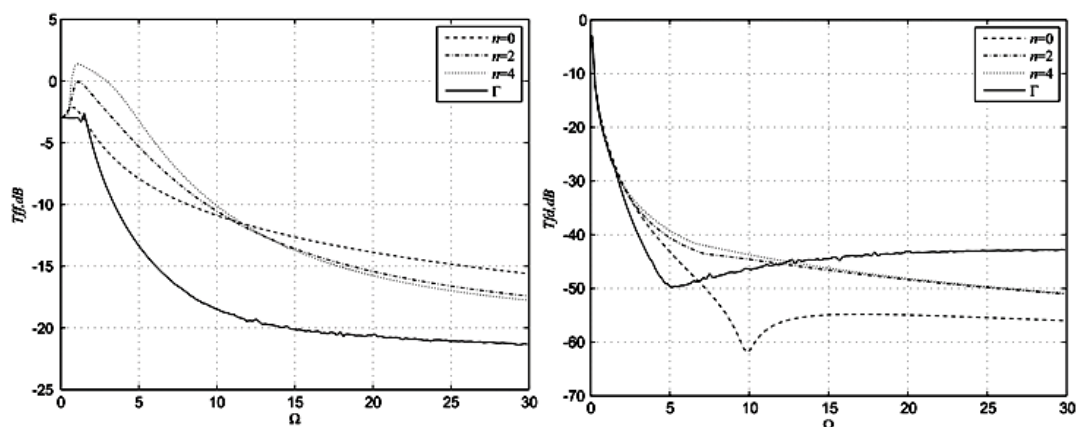


Рис. 2.2. Передаточные функции силы (слева) и «перемещение–сила» (справа) для гистерезисного (Γ), линейного вязкого ($n = 0$) и нелинейного вязкого ($n > 0$) демпферов

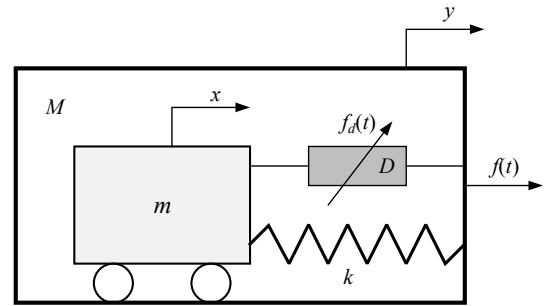


Рис. 2.1. Физическая модель колебательной системы с гистерезисным демпфирующим звеном

где коэффициент $\alpha = S/k$, S – площадь сечения демпфирующего материала; $\mathbf{W}$ – преобразователь Ишлинского [3]; $u = y(\tau) - x(\tau)$, а $\tau = \omega t$. Сравнение вязкого (моделируемого посредством функциональных линейных, или нелинейных соотношений [7]) и гистерезисного демпфирующих элементов наиболее репрезентативно может быть представлено в терминах передаточных функций, отражающих эффективность использования рассматриваемых типов демпфера в области резонанса системы и за ее пределами.

Передаточная функция силы:

$$T_{ff} = \frac{\max_{\tau} \left| m\omega_0^2 \frac{d^2 x}{d\tau^2} \right|}{Y\omega^2}. \quad (2.3)$$

Передаточная функция «перемещение–сила»:

$$T_{fd} = \frac{\max_{\tau} |x(\tau)|}{Y\omega^2}. \quad (2.4)$$

Как видно из результатов моделирования, в случае использования гистерезисного демпфера на основе материала Ишлинского, возможно добиться высокой эффективности демпфирования как в области резонанса, так и за ее пределами, по сравнению с использованием линейного или нелинейного вязкого демпферов.

3. Неограниченные и диссипативные колебания в системах с релейными нелинейностями

В настоящем разделе рассматривается система, динамика которой описывается задачей Коши следующего вида:

$$\begin{aligned} \ddot{x} + \omega^2 x &= R[\alpha, \beta, \omega_0]x, \\ x(0) &= x_0, \quad \dot{x}(0) = x_1, \end{aligned} \quad (3.1)$$

где $R[\alpha, \beta, \omega_r]$ – оператор неидеального реле с инверсией пороговых чисел.

Теорема: Пусть $x_0 \notin [\alpha; \beta]$. Тогда отвечающее ему решение не ограничено.

Иными словами, если начальное значение таково, что гистерезисное звено «срабатывает», то решение ему соответствующее не ограничено [10].

Замечание 1. Решение будет носить осцилляционный характер, при этом скорость роста амплитуды будет пропорциональна $\sqrt{t}$.

Замечание 2. Теорема остается верной и для других гистерезисных нелинейностей с обходом петли гистерезиса по часовой стрелке.

Если же начальное значение лежит на отрезке $[\alpha; \beta]$, то ему соответствует ограниченное

на всем положительном временном интервале решение.

Рассмотрим динамические свойства аналогичных систем с учетом различных типов трения (сухого и вязкого). В первом случае динамика системы описывается следующим уравнением:

$$\begin{aligned} \ddot{x} + 2b\dot{x} + \omega^2 x &= R[\alpha, \beta, \omega_0]x, \\ x(0) &= x_0, \quad \dot{x}(0) = x_1. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Рассматривая динамику решения, можно отметить, что, как только амплитуда решения становится достаточно велика, то работа силы трения уравнивает энергию, полученную осциллятором от гистерезисного преобразователя.

Колебания осциллятора с сухим трением и гистерезисным внешним воздействием описывается уравнением вида:

$$\ddot{x} + \eta \operatorname{sgn}(\dot{x}) + x = R[\alpha, \beta, \omega_0]x, \quad (3.3)$$

при этом приращение энергии за период колебаний описывается равенством

$$\Delta E = -\eta \int_0^T |\dot{x}| dt + S_{\text{петли}}. \quad (3.4)$$

Из соотношения (3.4) следует, что приращение энергии будет положительно, если работа сил трения будет меньше площади петли и отрицательна в противном случае. Так же верно будет выражение $2(x_{\max} - x_{\min})\eta = S_{\text{петли}}$, это означает, что амплитуда установившихся колебаний будет такова, что работа силы трения на периоде будет равна площади петли.

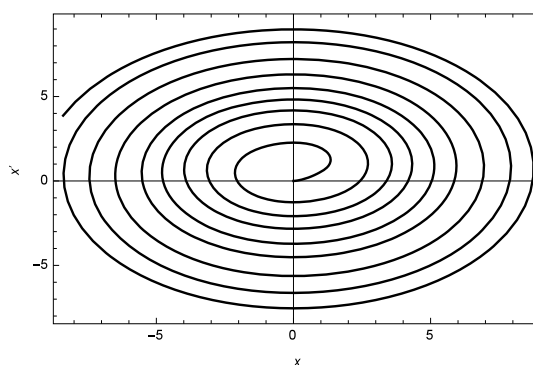
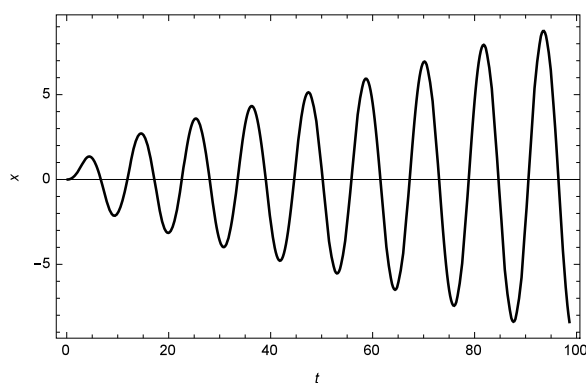


Рис. 3.1. Решение и фазовый портрет уравнения (3.1) с заданными начальными условиями

Заключение

В настоящей работе проводилось исследование обратного маятника с вертикально осциллирующим подвесом, управляемым посредством воздействия гистерезисной природы. Получены явные критерии устойчивости для линеаризованных уравнений движения. Установлено, что гистерезисный вибрационный демпфер на основе материала Ишлинского имеет ряд важных преимуществ по сравнению с демпферами, построенными на основе вязкого трения. Также в работе были исследованы резонансные свойства системы, в которой рассеивание энергии обусловлено наличием гистерезисного звена, а внешнее воздействие имеет резонансную частоту. Проведено обобщение для систем с различными видами трения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 16-08-00312, № 17-01-00251, № 18-08-00053).

Библиографический список

1. Матвеев М. Г., Семенов М. Е., Шевлякова Д. В., Канищева О. И. Зоны устойчивости и периодические режимы перевернутого маятника с гистерезисным управлением // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 11. С. 8 – 14.
2. Андронов А. А., Майер А. Т. Простейшие линейные системы с запаздыванием // Автоматика и телемеханика. 1946. № 7. С. 95 – 106.
3. Красносельский М. А., Покровский А. В. Системы с гистерезисом. М.: Наука, 1983. 272 с.
4. Красносельский М. А., Бурд В. Ш., Колесов Ю. С. Нелинейные почти периодические колебания. М.: Наука, 1970. 304 с.
5. Красносельский А. М., Покровский А. В. Диссипативность нерезонансного маятника с ферромагнитным трением // Автоматика и телемеханика. 2006. № 2. С. 57 – 69.
6. Стабилизация обратного маятника на двухколесном транспортном средстве / В. И. Рязских и др. // Вестник Южно-Ур. ун-та. Сер. Матем. Мех. Физ. 2017. № 9. С. 41 – 50.
7. Семенов М. Е., Матвеев М. Г., Лебедев Г. Н., Соловьев А. М. Стабилизация обратного гибкого маятника с гистерезисными свойствами // Мехатроника, автоматизация, управление. 2017. № 8. С. 516 – 525.

8. Модель динамики обратного маятника с гистерезисным управлением / М. Е. Семенов и др. // Вестник Воронежского государственного университета: Физика. Математика. 2016. № 4. С. 165 – 177.

9. **Nonlinear** Damping: from Viscous to Hysteretic Dampers / M. E. Semenov, A. M. Solovyov, P. A. Meleshchenko et al. // Proceedings in Physics. 2018. V. 199. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-63937-6_15.

10. **Hysteretic** nonlinearity and unbounded solutions in oscillating systems / A. M. Solovyov, M. E. Semenov, P. A. Meleshchenko et al. // Procedia Engineering. 2017. V. 201. P. 578 – 583.

References

1. Matveev M. G., Semenov M. E., Shevlyakova D. V., Kanishcheva O. I. Zony ustoychivosti i periodicheskiye rezhimy perevernutogo mayatnika s gisterезisnym upravleniyem // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye. 2012. № 11. P. 8 – 14.
2. Andronov A. A., Mayyer A. T. Prosteyshiye lineynyye sistemy s zapazdyvaniyem // Avtomatika i telemekhanika. 1946. № 7. P. 95 – 106.
3. Krasnosel'skii M. A., Pokrovskii A. V. Sistemy s gisterезisom. M.: Nauka, 1983. 272 p.
4. Krasnosel'skii M. A., Burd V. S., Kolesov Yu. S. Nelineynyye pochti periodicheskiye kolebaniya. M.: Nauka, 1970. 304 p.
5. Krasnosel'skii A. M., Pokrovskii A. V. Dissipativnost' nerezonansnogo mayatnika s ferromagnitnym treniyem // Avtomat. i Telemekh. 2006. № 2. P. 57 – 69.
6. Stabilizatsiya obratnogo mayatnika na dvukhkollesnom transportnom sredstve / A. V. Ryazhskih, M. Y. Semenov, A. G. Rukavicin et al. // Vestnik Yuzhno-Ural. Gos. Un-ta. Ser. Matem. Mekh. Fiz. 2017. № 9. P. 41 – 50.
7. Stabilizatsiya obratnogo gibkogo mayatnika s gisterезisnymi svoystvami / M. E. Semenov, M. G. Matveev, G. N. Lebedev et al. // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye. 2017. № 8. P. 516 – 525.
8. Model' dinamiki obratnogo mayatnika s gisterезisnym upravleniyem / M. E. Semenov, Z. Hatif, O. O. Reshetova et al. // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta: Fizika. Matematika. 2016. № 4. P. 165 – 177.
9. **Nonlinear** Damping: from Viscous to Hysteretic Dampers / M. E. Semenov, A. M. Solovyov, P. A. Meleshchenko et al. // Proceedings in Physics. 2018. V. 199. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63937-6_15.
10. **Hysteretic** nonlinearity and unbounded solutions in oscillating systems / A. M. Solovyov, M. E. Semenov, P. A. Meleshchenko et al. // Procedia Engineering. 2017. V. 201. P. 578 – 583.

УДК 681.5.01

О. А. Степанов, проф. каф. информационно-навигационных систем Университета ИТМО, нач. отдела,
e-mail: ostepanov@eprib.ru,

О. В. Зайцев, мл. науч. сотр., аспирант каф. информационно-навигационных систем Университета ИТМО,
e-mail: olgerd@yandex.ru
(АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург, Россия)

К 60-ЛЕТИЮ МЕЖДУНАРОДНОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ

Аннотация. Кратко излагается история создания Международной федерации по автоматическому управлению, ее основная миссия и задачи, обсуждается современное состояние и перспективы развития организации. Приводится информация о Всемирных конгрессах по управлению, анализируется статистика участников Конгрессов из России.

Ключевые слова: Международная федерация по автоматическому управлению, Всемирный Конгресс, автоматика, теория управления.

O. A. Stepanov, O. V. Zaitcev (Concern CSRI Elektropribor, Saint-Petersburg, Russia)

ON THE SIXTIETH ANNIVERSARY OF INTERNATIONAL FEDERATION OF AUTOMATIC CONTROL

Abstract. The history of the International Federation of Automatic Control, its main mission and tasks, and the status and prospects of the organization are briefly described. The information about the World Congresses of Automatic Control is given, the statistics of participants of the Congresses from Russia are analyzed.

Index terms: International Federation of Automatic Control, automatic control, World Congress.

Введение. В 2017 году в Тулузе (Франция) прошел, 20-й по счету, Всемирный конгресс по автоматическому управлению (20-th IFAC World Congress). Такие конгрессы организуются раз в три года Международной федерацией по автоматическому управлению (ИФАК, International Federation of Automatic Control- IFAC), о которой и пойдет речь в предлагаемом докладе [1].

О создании ИФАК. Мировые научные и политические события в 50-х годах прошлого столетия подтолкнули крупнейших ученых того времени к созданию единой организации, в рамках которой можно было бы обмениваться опытом и решать насущные задачи по развитию теории автоматического управления совместными усилиями. В сентябре 1956 года в городе Гейдельберге (Германия) состоялась Международная Конференция по Автоматическому управлению, организованная гильдией по автоматическому управлению Союза Германских Инженеров и Электротехников. На ней группа делегаций, в которую входили представители СССР, выступила за создание международной организации, которая бы способствовала распространению идей в области теории управления во благо чело-

вечества. Была подписана декларация, зафиксировавшая необходимость создания такой организации, и подписавшие ее страны обязались учредить национальные комитеты по автоматическому управлению. В конце апреля 1957 г. в Германии состоялось заседание подготовительного комитета (рис. 1) [2], на котором, в том числе, была достигнута и договоренность по ключевым позициям относительно будущего организации, а сама организация, названная Международной федерацией по автоматическому управлению, была создана 12 сентября 1957 года в Париже.

На заседании подготовительного комитета было решено, что первый президент ИФАК будет из США Гарольд Честнат, а на пост второго президента была предложена кандидатура известного советского ученого Летова Александра Михайловича [1, 3].

Каждая страна, входящая в состав федерации, была представлена своим Национальным Комитетом. Советский Союз в ИФАК представлял Председатель Национального комитета СССР по автоматическому управлению при Академии наук СССР – академик Трапезников Вадим Александрович.

О структуре, целях и задачах. Сегодня ИФАК – это многонациональная федерация из 52 организаций-членов, каждая из которых представляет инженерные и научные общества, связанные с автоматическим управлением в своей собственной стране. Каждая национальная организация формирует свою делегацию, входящую в состав Генеральной Ассамблеи. Официальным главой федерации ИФАК является Президент, выбираемый Ассамблеей и поддерживаемый Советом. Президент сменяется каждые три года. Совет включает в себя Техническую Комиссию, Исполнительную Комиссию и Секретариат. В свою очередь, Техническая Комиссия разделена на 9 Координационных Комитетов, каждый из которых включает несколько Технических Комитетов, общее число которых на сегодняшний день составляет 39. Сфера научных интересов Координационных Комитетов в значительной степени определяется их названием: Systems and Signals; Design Methods; Computers, Cognition and Communication; Mechatronics, Robotics and Components; Manufacturing and Logistics Systems; Process and Power Systems; Transportation and Vehicle Systems; Bio- and Ecological Systems; Social Systems.

Основные цели ИФАК заключаются в стимулировании научных исследований в области автоматического управления, в обмене научными результатами и знаниями между учеными из разных стран и в популяризации образования среди молодежи. В общей сложности ИФАК проводит или спонсирует около 30 научных мероприятий ежегодно, среди которых симпозиумы, конференции и семинары, посвященные отдельным аспектам автоматического управления. Весьма информативной является свободно распространяемая газета IFAC Newsletter, выпускаемая 6 раз в год, в которой публикуется актуальная информация о прошедших событиях ИФАК, размещается календарь грядущих мероприятий, приводятся интервью первых лиц



Рис. 1. Члены подготовительного комитета Первой Генеральной ассамблеи (1957, Париж) (слева направо):

Рюпперль (Германия), Рачеев (СССР), Новацки (Польша), Наумов (СССР), Ольденбургер (США), Летов (СССР), Шредер (Германия), Мюллер (Германия), Бэмфорд (Великобритания), Греббе (Германия), Бройда (Франция) [2]

ИФАК, списки лауреатов премий, присуждаемых федерацией, и многое другое [1, 4].

ИФАК издает авторитетные научные журналы Automatica, Control Engineering Practise, Annual Reviews in Control, Journal of Process Control, Engineering Applications of Artificial Intelligence и Joirnal of Mechatronics, с импакт-фактором от 2,5 до 5,4. Весьма важным представляется также ресурс IFAC-PapersOnline – открытое (open access) издание в области управления, получившее в 2015 году статус индексируемого журнала, а также присуждение раз в три года премий и медалей за выдающиеся достижения в области автоматического управления, в том числе приз молодому автору, приз за лучший учебник и т.д.

Нашу страну в ИФАК представляет Российский национальный комитет по автоматическому управлению (РНКАУ), который возглавляет известный российский ученый, академик РАН – Куржанский Александр Борисович. В состав РНКАУ входят авторитетные ученые в области теории управления, в том числе 6 академиков и 12 членов-корреспондентов РАН [2]. Следует отметить также активно работающую Санкт-петербургскую группу РНКАУ, возглавляемую академиком РАН Пешеховым Владимиром Григорьевичем.

О конгрессах ИФАК. Наиболее важными научными мероприятиями, организуемыми ИФАК, несомненно, являются Всемирные конгрессы по автоматическому управлению. На заседании подготовительного комитета в Германии было принято решение о том, что первый конгресс ИФАК будет проведен в Москве в 1960 году. Причины, по которым конгресс проводился именно в Москве, становятся ясными, если вспомнить о достижениях СССР в то время в одной лишь области – космонавтике. Так, 4 октября 1957 г. состоялся запуск первого искусственного спутника Земли; 2 января 1960 г. – первый полет к Луне; 14 сентября 1960 г. – первая посадка космического аппарата «Луна-2» на поверхность Луны; 7 октября 1960 г. – первый облет Луны космическим аппаратом «Луна-3» и первые съемки ее с обратной стороны. И, наконец, 12 апреля 1961 г. – первый полет человека в Космос. Ясно, что развитие космонавтики требовало решения серьезных задач, связанных с управлением и обработкой сигналов, и значительные успехи отечественных ученых были в этой области общепризнанными. Заметим также, что еще в 1939 году в нашей стране создается первый специализированный Институт

автоматики и телемеханики (впоследствии Институт проблем управления (ИПУ) им. В. А. Трапезникова РАН), а тремя годами ранее, в 1936 г., начинает издаваться первый в мире специализированный журнал «Автоматика и телемеханика» [5]. Эти факты свидетельствуют о том, что в тот период отечественная наука занимала передовые позиции в области теории и практики автоматического управления.

Первый конгресс был выдающимся событием для науки того времени. Он проходил в Москве с 27 июня по 7 июля 1960 г. Сюда собрались 1190 участников и более 1000 приглашенных из 29 стран.

Из 410 представленных докладов было отобрано 285 докладов, авторами которых были как широко известные ученые из различных областей теории и практики автоматического управления, такие, например, как Норбер Винер, так и молодые талантливые ученые, впоследствии прославившиеся своими научными достижениями. К примеру, на конгрессе мало кому в то время известный 30-летний Рудольф Калман представил свой доклад «Об общей теории систем», впоследствии послуживший основой для построения современной теории управления [6].



Рис. 2. Участники первого Конгресс ИФАК (1960, Москва)

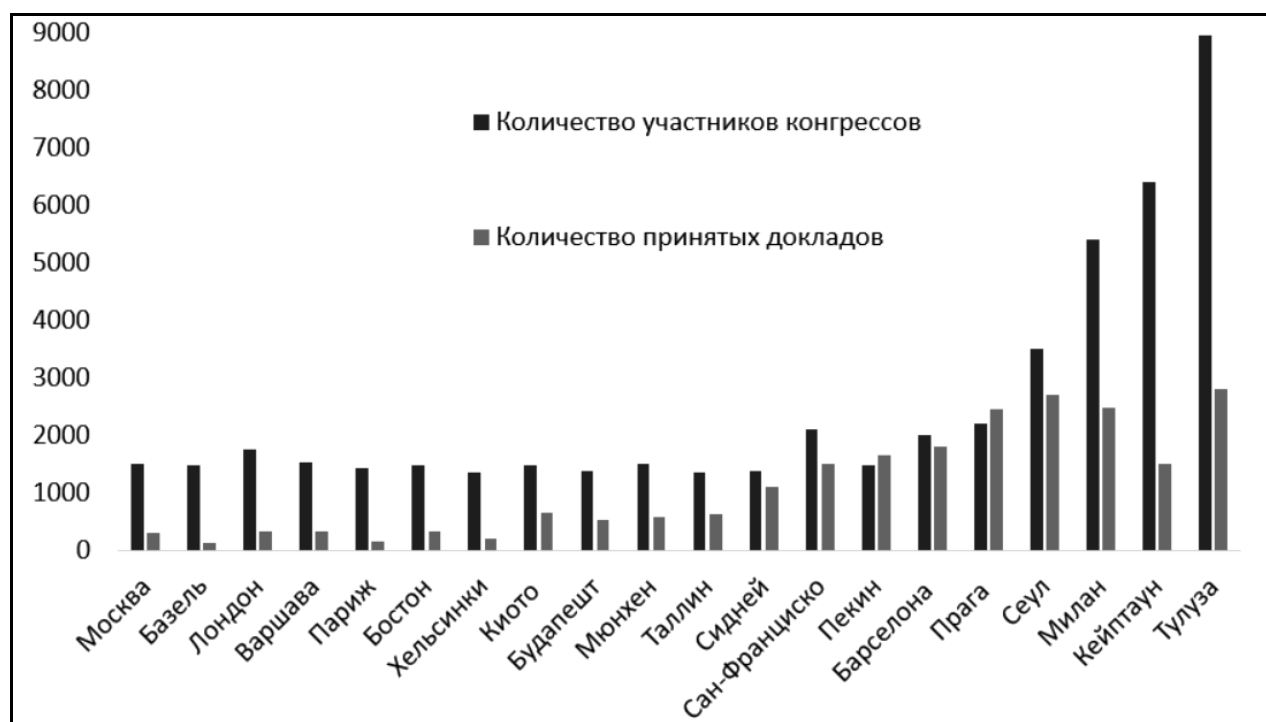


Рис. 3. Количество участников и докладов на конгрессах в разные годы

Одной из приоритетных задач ИФАК того времени стал взаимный обмен знаниями между различными странами, а также создание возможностей для развивающихся стран принимать участие в конгрессах. Эта задача сохраняет свою актуальность и по сей день. На рисунке 3 представлен график, иллюстрирующий количество участников и поданных докладов на конгрессах в разные годы. Эти показатели неуклонно увеличиваются, что свидетельствует о растущем интересе научного сообщества к подобным мероприятиям.

ИФАК сегодня. Специфику деятельности ИФАК на современном этапе можно оценить, анализируя особенности прошедшего 20-го юбилейного Конгресса ИФАК [7, 8]. Прежде всего, поражает огромное количество поданных заявок на участие – 4093, из которых в окончательную программу вошло 2800 докладов. Эта цифра сопоставима с общим числом поданных заявок на предыдущий конгресс в Кейптауне в 2014 г. (2637) [9]. Особенности юбилей-

ного конгресса стало проведение Открытых приглашенных секций, с числом докладов, достигающим 30, наличие большого числа исторических докладов, представленных на 6 исторических секциях, а также Демонстрационные секции, организованные при поддержке разработчиков из Исследовательской Лаборатории LARIS Анжерского Университета во Франции.

Ряд секций был посвящен социальным и общеобразовательным вопросам. Было проведено значительное количество круглых столов, заставивших задуматься, в частности, и о том, как подготовить достойную смену. Квинтэссенция обсуждения этой темы была выражена в названии доклада председателя комитета по образованию ИФАК Божены Пасик-Дункан «Подготовка завтрашних ученых и инженеров XXI века к вызовам будущего».

В целом, научную направленность конгресса в какой-то степени можно оценить, если обратиться к табл. 1, в которой указан процент принятых докладов по соответствующим направлениям [4].

1. Процент принятых докладов по направлениям на 20-м Конгрессе

Направление	Процент принятых докладов
Системы и сигналы	19,4
Методы проектирования	26,4
Компьютеры, познание и коммуникации	2,1
Мехатроника, робототехника и компоненты	10,4
Производственные и логистические системы	6,5
Технологические и энергетические системы	12,8
Транспорт и системы транспортных средств	10,7
Био- и экологические системы	6,4
Социальные системы	5,2

Перспективы развития. По мнению 22 избранного президента ИФАК Фрэнка Алгевера (Frank Allgöwer), автоматизация и управление сегодня интересует колоссальную аудиторию, занимающуюся автономными транспортными средствами, интеллектуальными сетями, современной робототехникой, умным производством [4]. Стремительно развивается сегмент киберфизических систем, нашедший применение во многих отраслях: проектирование самоорганизующихся электросетей, мониторинг производственных процессов и цепей поставок, обмен информацией между участниками транспортного движения и др. Наблюдается интеграция киберфизических систем с различными областями: межмашинное взаимодействие, облачные вычисления, обработка больших объемов данных. Все большую популярность набирают «умные вещи» (smart things), активно внедряемые в повседневную жизнь. Интернет вещей связывает огромное количество устройств, взаимодействующих с окружающим миром. В первую очередь, такие автономные приборы, умеющие при необходимости подключаться к Интернету и обмениваться информацией с другими механическими устройствами, найдут свое применение в промышленности, исключив вмешательство оператора в цепочку рутинных производствен-

ных операций. Самонастройка оборудования и самоконтроль над процессом производства будет проводиться на протяжении всего жизненного цикла создания изделия. Вторым чрезвычайно популярным сектором их применимости становятся бытовые нужды. Сегодня среднестатистический житель Земли пользуется не только смартфоном и ноутбуком, но и подключенной к Интернету «умной вещью»: машина, подогревающая двигатель к выходу владельца, умный холодильник, формирующий список продуктов, исходя из вкусов потребителя, smart-часы, будильник, подстраивающий звонок под фазы сна человека и многое другое. Более того, по заявлению представителей компании Samsung через 5 лет 90 % техники компании будет оборудовано встроенным подключением к Интернету.

Упомянутые особенности являются предвестниками так называемой четвертой промышленной революции (Industry 4.0, немецкий термин, впервые прозвучавший на Ганноверской выставке в 2011 г.). К основным рискам, которые неизбежно повлечет за собой переход к новому будущему, можно отнести опасность монополизации ключевых технологий несколькими крупными корпорациями, повышенная уязвимость интегрированных с Интернетом устройств к кибератакам, а также сокращение числа рабочих мест вплоть до ликвидации некоторых отраслей. Однако подробный анализ ситуации выходит за рамки этого обзорного доклада.

О российских участниках. Приведем некоторую статистику, отражающую количество российских участников и(или) их принятых докладов) на конгрессах с 2002 по 2017 годы [10 – 14]. На конгрессе в 2002 г. в Барселоне приняло участие 42 отечественных делегата, через три года на пражском конгрессе их количество возросло до 100 и оставалось примерно таким же и на следующем мероприятии в Сеуле в 2008 г. При этом российские участники представили около 50 докладов. Спустя три года в Милане в финальную программу было принято уже 114 российских докладов, а в 2014 г. в Кейптауне уже 138. Недавний юбилейный конгресс 2017 г. в Тулузе вызвал большой интерес, что сказалось на посещаемости: 77 делегатов из России и 152 принятых доклада. При этом наибольшее число участников было из Санкт-Петербурга (рис. 4).



Рис. 4. Русскоязычная делегация на 20-м Конгрессе ИФАК (Тулуза)

В свое время важное место при подготовке к участию в конгрессах ИФАК занимало Всесоюзное совещание по автоматическому управлению, систематически проводимое в Советском Союзе. На современном этапе такое совещание было организовано в 2014 г. в связи с 75-летием ИПУ РАН. Важно отметить, что на запланированном 13-м совещании, которое пройдет в 2019 г., предполагается провести семинар на тему «Как подготовить публикацию на авторитетную международную конференцию и в высокорейтинговый журнал» с участием ведущих мировых ученых, имеющих опыт работы в программных комитетах и редакциях журналов [15]. Хочется надеяться, что проведение такого семинара будет способствовать увеличению числа российских докладчиков на следующем Всемирном конгрессе, который состоится в 2020 г. в Берлине.

Заключение. Бурное развитие автоматического управления в XX веке в совокупности с глобальными мировыми и политическими событиями послужило катализатором к созданию единой организации, занимающейся решением

научных и технологических вопросов того времени. Можно констатировать, что ИФАК за 60 лет существования не утратила своей значимости и продолжает развиваться, способствуя решению новых и актуальных задач и проводя просветительскую деятельность по всему миру.

Библиографический список

1. Сайт федерации ИФАК www.ifac-control.org
2. Курдюков А. П. История ИФАК. Сайт РНКАУ <http://www.mcau.ru/~ifac>
3. Степанов О. А., Зайцев О. В. IFAC – шестьдесят лет прогресса // Control Engineering. 2017. № 6(72). С. 20 – 24.
4. https://www.ifaccontrol.org/newsletter_archive/IFAC_Newsletter_2017_4_August.pdf
5. Институт проблем управления – 70 лет. М.: Учреждение Российской академии наук Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2009. 580 с.
6. Степанов О. А. Фильтр Калмана. История и современность (К 80-летию Рудольфа Эмиля Калмана) // Гироскопия и навигация. 2010. № 2(69). С. 107 – 121.
7. Сайт Конгресса <https://www.ifac2017.org>

8. **Степанов О. А., Зайцев О. В.** 20-й юбилейный Всемирный конгресс ИФАК // *АиТ*. 2018. № 8.
9. **Поляк Б. Т., Степанов О. А., Фрадков А. Л.** 19-й Всемирный конгресс ИФАК // *АиТ*. 2015. № 2. С. 150 – 156.
10. https://www.ifaccontrol.org/newsletter_archive/IFAC_Newsletter_2002_5_October.pdf
11. https://www.ifaccontrol.org/newsletter_archive/IFAC_Newsletter_2011_5_October.pdf
12. https://www.ifaccontrol.org/newsletter_archive/IFAC_Newsletter_2014_5_October.pdf
13. **Куржанский А. Б.** Отчет о 16-м Международном конгрессе ИФАК (IFAC) // Международная федерация по автоматическому управлению. *АиТ*. 2006. № 1. С. 183 – 189.
14. **Фрадков А. Л.** Международные конференции по системам управления: традиции и тенденции. *АиТ*. 2011. № 1. С. 174 – 178.
15. **Сайт** Всероссийского совещания по проблемам управления <http://vspu2019.ipu.ru>

References

1. **Сайт** федерации ИФАК www.ifac-control.org
2. **Kurdyukov A. P.** *Istoriya IFAK Sajt RNKAU* <http://www.mcau.ru/-ifac>
3. **Stepanov O. A., Zajcev O. V.** *IFAC – shest’desyat let progressa* // *Control Engineering*. 2017. № 6 (72). P. 20 – 24.

4. https://www.ifaccontrol.org/newsletter_archive/IFAC_Newsletter_2017_4_August.pdf
5. **Institut problem upravleniya – 70 let.** М.: Uchrezhdenie Rossijskoj akademii nauk Institut problem upravleniya im. V. A. Trapeznikova RAN, 2009. 580 p.
6. **Stepanov O. A.** *Fil’tr Kalmana. Istoriya i so-vremennost’ (K 80-letiyu Rudol’fa E’milya Kalmana)* // *Giroskopiya i navigaciya*. 2010. № 2(69). P. 107 – 121.
7. **Сайт** Конгресса <https://www.ifac2017.org>
8. **Stepanov O. A., Zajcev O. V.** 20-й юбилейный Всемирный конгресс ИФАК // *АиТ*. 2018. № 8.
9. **Polyak B. T., Stepanov O. A., Fradkov A. L.** 19-й Всемирный конгресс ИФАК // *АиТ*. 2015. № 2. P. 150 – 156.
10. https://www.ifaccontrol.org/newsletter_archive/IFAC_Newsletter_2002_5_October.pdf
11. https://www.ifaccontrol.org/newsletter_archive/IFAC_Newsletter_2011_5_October.pdf
12. https://www.ifaccontrol.org/newsletter_archive/IFAC_Newsletter_2014_5_October.pdf
13. **Kurtzanskii A. B.** Отчет о 16-м Международном конгрессе ИФАК (IFAC) // *Mezhdunarodnoj federacii po avtomaticheskomu upravleniyu*. *АиТ*. 2006. № 1. P. 183 – 189.
14. **Fradkov A. L.** *Mezhdunarodny’e konferencii po sistemam upravleniya: tradicii i tendencii*. *АиТ*. 2011. № 1. P. 174 – 178.
15. **Сайт** Всероссийского совещания по проблемам управления <http://vspu2019.ipu.ru>

О. Ю. Марьясин (ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», Ярославль, Россия, e-mail: maryasin2003@list.ru)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЗДАНИЕМ

Аннотация. Рассмотрена система управления зданием, которая позволяет интегрировать традиционное инженерное оборудование и новейшие системы на базе прогнозирующих контроллеров.

Ключевые слова: система управления зданием, оптимальный прогнозирующий контроллер, база правил.

O. Yu. Maryasin (FSBEI HPE «Yaroslavl State Technical University», Yaroslavl, Russia)

INTELLIGENT HYBRID BUILDING MANAGEMENT SYSTEM

Abstract. The article considers the building management system, which allows integrating traditional engineering equipment and the latest systems based on predictive controllers.

Index terms: building management system, model predictive controller, rules base.

Современное здание включает как непрерывные (теплообменники, радиаторы, конвекторы), так и дискретные (термостаты, вентиляторы, насосы) элементы, работающие по принципу включено/выключено. Кроме того, на функционирование зданий могут оказывать влияние различные внутренние или внешние события, связанные с жизнедеятельностью людей, работой оборудования и другими факторами. С точки зрения математического описания современное здание представляет собой непрерывно-дискретную или гибридную динамическую систему, состоящую из взаимодействующих элементов различной природы, поведение которых описывается как непрерывными, так и дискретными процессами.

Поведение гибридных динамических систем можно описать с использованием гибридных логико-динамических моделей или гибридных автоматов. Согласно работе [1] систему логических условий можно преобразовать в систему целочисленных линейных неравенств, а логико-динамическую модель в смешанную логико-динамическую. Для управления такими системами в работе [1] предлагаются гибридные оптимальные прогнозирующие контроллеры. Недостатком такого подхода является то, что он приводит задачу управления гибридной динамической

системой к задаче смешенного целочисленного программирования большой размерности.

Автор предлагает альтернативный подход к решению задачи управления гибридными динамическими системами. Данный подход использует исходную логико-динамическую модель, представленную в виде множества правил. Из правил модели строится база знаний продукционного типа. Условия правил продукции (IF-part) повторяют систему условий исходной модели, а части действия (THEN-part) правил продукции определяют или операцию, выполняемую инженерным оборудованием здания, и(или) конфигурацию оптимального прогнозирующего контроллера.

Достоинством предложенного подхода является то, что он позволяет интегрировать в единую систему традиционное инженерное оборудование, управляемое на основе сценариев или простейших систем регулирования, и новейшие системы на базе оптимальных прогнозирующих контроллеров.

Библиографический список

1. Bemporad A., Morari M. Control of systems integrating logic, dynamics, and constraints // Automatica. 1999. V. 35, № 3. P. 407 – 427.

УДК 517.977.58

О. А. Тягунов, д-р тех. наук, проф. (ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва, Россия, e-mail: tyagunov@mirea.ru)

ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММНЫХ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО УРОВНЯ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Аннотация. Рассмотрены постановка и решение задачи построения оптимальных (квазиоптимальных) совокупностей согласованных во времени программных управляющих воздействий на исполнительные органы мобильного робота на основе методов робастного оптимального управления.

Ключевые слова: автономный мобильный робот, искусственный интеллект, оптимальное управление.

О. А. Tyagunov (FSBEI HE «MIREA – Moscow Technological University», Moscow, Russia)

THE PROBLEM OF OPTIMIZATION OF SOFTWARE CONTROL LAWS OF THE EXECUTIVE LEVEL OF AUTONOMOUS MOBILE ROBOTS

Abstract. The report is devoted to the formulation and solution of the problem of constructing optimal (quasi-optimal) sets of time-coordinated program control actions on the executive organs of the mobile robot based on the methods of robust optimal control.

Index terms: autonomous mobile robot, artificial intelligence, optimal control.

Задачам построения основных законов управления исполнительным уровнем малых и средних автономных мобильных роботов (МР) посвящено достаточно много работ, из которых можно отметить [1 – 3]. Однако полученные результаты практически неприменимы при построении законов управления исполнительным уровнем тяжелых автономных МР. В значительной мере это связано с тем, что для процесса движения этого класса МР характерно наличие факторов неопределенности (неточное знание моделей динамики МР, сложный характер взаимодействия движителя МР и поверхности перемещения и т.д.).

В работе [4] при разработке законов управления основными программными режимами движения автономных МР в условиях значительного влияния факторов неопределенности было предложено использовать методы искусственного интеллекта для реализации принципа ситуационного управления с привлечением экспертных данных о допустимых законах программного управления МР и известных методиках обучения механиков-водителей тяжелых транспортных средств. В частности, были выделены три этапа решения поставленной задачи.

1. Этап формирования вербальной версии законов программного управления для базовых команд в различных ситуациях.

2. Этап формирования совокупностей временных диаграмм изменения состояния управляющих органов МР с последующим построением их математических моделей.

3. Этап построения оптимальных (квазиоптимальных) совокупностей согласованных во времени программных управляющих воздействий на исполнительные органы МР на основе использования методов искусственного интеллекта.

В рамках первых двух этапов были разработаны формализованные версии «экспертных знаний» в виде согласованных временных диаграмм изменения положения исполнительных органов МР для всех вариантов типовых команд движения для всех складывающихся ситуаций. Получены данные математического моделирования, свидетельствующие о принципиальной работоспособности разработанных алгоритмов и возможности их использования в подсистемах исполнительного уровня МР различного назначения.

В настоящем докладе рассмотрена постановка и решение задачи построения оптимальных (квазиоптимальных) совокупностей согласованных во времени программных управляющих воздействий на исполнительные органы МР на основе методов робастного оптимального управления [5].

Библиографический список

1. **Iagnemma K., Dubowsky S.** Mobile Robots in Rough Terrain. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2004. 110 p.
2. **Lamon P.** 3D-position Tracking and Control for All-Terrain Robots. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2008. 104 p.
3. **Бурдаков С. Ф., Мирошник И. В., Стельмаков Р. Э.** Системы управления движением колесных роботов. СПб.: Наука, 2001. 227 с.
4. **Тягунов О. А., Теплов М. А.** Об одной задаче построения программных законов управления исполнительного уровня автономных мобильных роботов с использованием метода ситуационного управления и технологий экспертных систем // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: матер. III Всерос. Пospelovskoy konf. s mezhdunar. uchastiem. Kaliningrad: Izd-vo BFU im. I. Kanta, 2016. С. 350 – 358.
5. **Boltyanski V. G., Poznyak A. S.** The robust maximum principle. Birkhauser, 2012. 455 p.

References

1. **Iagnemma K., Dubowsky S.** Mobile Robots in Rough Terrain. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2004. 110 p.
2. **Lamon P.** 3D-position Tracking and Control for All-Terrain Robots. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2008. 104 p.
3. **Burdakov S. F., Miroshnik I. V., Stelmakov R. E.** Sistemy upravleniya dvizheniem kolesnykh robotov. SPb.: Nauka, 2001. 227 p.
4. **Tyagunov O. A., Teplov M. A.** Ob odnoy zadache postroeniya programmykh zakonov upravleniya ispolnitelnogo urovnya avtonomnykh mobilnykh robotov s ispolzovaniem metoda situacionnogo upravleniya i tekhnologiy ekspertnykh sistem // Gibridnye i sinergeticheskie intellektualnye sistemy / Mater. III Vseros. Pospelovskoy konf. s mezhdunar. uchastiem. Kaliningrad: Izd-vo BFU im. I. Kanta, 2016. P. 350 – 358.
5. **Boltyanski V. G., Poznyak A. S.** The robust maximum principle. Birkhauser, 2012. 455 p.

УДК 004.896

Н. В. Аллилуева (АО НПП «Радар ММС», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: allilueva_nv@radar-mms.com),
Э. М. Руденко (ФВА РВСН им. Петра Великого, Серпухов, Россия, e-mail: eduard5529@yandex.ru)

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ БПЛА НА ГРАФЕ РЕПЕРНЫХ ТОЧЕК МЕТОДОМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Аннотация. Приведено применение генетического алгоритма для решения задачи маршрутизации БПЛА. Рассмотрен случай многокритериальной реализации генетического алгоритма. На основании результатов моделирования применения алгоритма проведен анализ эффективности его работы.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, маршрутизация, полетное задание, генетический алгоритм, целевая функция графа, расписание полета.

N. V. Alliluyeva (Company Scientific-Production Enterprise «Radar MMS», Saint-Petersburg, Russia);
E. M. Rudenko (Branch of Peter the Great Strategic Missile Academy, Serpukhov, Russia)

MULTI-OBJECTIVE UAV ROUTING IN A GRAPH OF REFERENCE POINTS BY USING GENETIC ALGORITHM METHOD

Abstract. The application of genetic algorithm for solving the UAV routing problem is presented. The case of multi-criteria implementation of the genetic algorithm is considered. Based on the results of the simulation of the algorithm, the analysis of its efficiency is carried out.

Index terms: unmanned aerial vehicle, routing, flight task, genetic algorithm, graph objective function, flight schedule.

Широкий диапазон задач маршрутизации полета при наблюдении неподвижных и мобильных наземных объектов охватывает множество

практических случаев применения БПЛА. К ним относятся задачи планирования маршрутов облета некоторого числа пунктов одним БПЛА

или группой [1]. При этом эффективность планирования, как правило, оценивается с помощью нескольких частных критериев качества, а само планирование занимает различное время, допустимое для использования в самом полете, либо при формировании предполетного задания. Среди перечисленных факторов наибольшую трудность представляют задачи, обладающие большой размерностью (при большом числе пунктов и используемых БПЛА) и многокритериальностью с учетом требований по экономичности полета, своевременности наблюдения пунктов согласно заданному графику, приоритетности выбранных для обслуживания пунктов и т.д. Для преодоления этих трудностей полный перебор вариантов обычно невозможен, поэтому выбран генетический алгоритм (ГА), который приспособлен к решению задачи выбора маршрута на основе метода целевой функции (ЦФ) графа и выполнению условий формирования маршрута, удовлетворяющего критериям минимума дальности, максимума суммы приоритетности наблюдаемых пунктов, и выполнению заданного расписания по обслуживанию мобильных пунктов [2].

Моделирование решения многокритериальной задачи маршрутизации методом ГА в пакете Matlab составляет на двухъядерном компьютере с частотой 1,7 ГГц ядра около 14 с. Для получения большего количества оптимальных маршрутов можно использовать группу симметрии графа, элементы которой представляют автомор-

физмы, переставляющие вершины маршрутов. Это позволяет из ограниченного числа маршрутов на графе получить новые и тем самым повысить многообразие вариантов решения многокритериальной задачи.

Библиографический список

1. Лебедев Г. Н., Гончаренко В. И., Румкина А. В. Модификация метода ветвей и границ для двумерной маршрутизации координированного полета группы летательных аппаратов // Новые технологии. Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. Т. 17, № 11. С. 783 – 791.

2. Михайлин Д. А., Аллилуева Н. В., Руденко Э. М. Сравнительный анализ эффективности генетических алгоритмов маршрутизации полета с учетом их различной вычислительной трудоемкости и многокритериальности решаемых задач // Труды МАИ. 2018. Вып. № 98. URL: http://www.mai.ru/science/trudy_mai

References

1. Lebedev G. N., Goncharenko V. I., Rumkina A. V. Modifikaciya metoda vetvej i granic dlya dvumernoj marshrutizacii koordinirovannogo poleta gruppy letatelnyh apparatov // Noveye tekhnologii. Mekhatronika, avtomatizaciya, upravlenie. 2016. V. 17, № 11. P. 783 – 791.

2. Mikhailin D. A., Allilueva N. V., Rudenko E. M. Comparative analysis of the effectiveness of genetic algorithms the routing of the flight, taking into account their different computational complexity and multicriteria tasks // Trudy MAI. 2018, Vyp. № 98. URL: http://www.mai.ru/science/trudy_mai

УДК 004.89

Ю. В. Литовка, д-р техн. наук, проф. каф. «Системы автоматизированной поддержки принятия решений»,
 М. Насраоуи, аспирант каф. «Системы автоматизированной поддержки принятия решений»
 (ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия, e-mail: polychem@list.ru)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НАНЕСЕНИЯ НАНОМОДИФИЦИРОВАННОГО ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ

Аннотация. Рассмотрена интеллектуальная система оптимального управления процессом нанесения гальванического покрытия из электролита, содержащего наноуглеродные добавки. Система управления решает задачу поиска концентрации нанодобавок для получения покрытий с наилучшими качественными показателями.

Ключевые слова: интеллектуальная система управления, наномодифицированное гальваническое покрытие.

Yu. V. Litovka, M. Nasraoui (Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

INTELLECTUAL CONTROL SYSTEM THE PROCESS OF DEPOSITIONS OF NANO-MODIFIED ELECTROPLATING COATING

Abstract. An intellectual system for optimal control of the process of depositions a galvanic coating of an electrolyte, containing nanocarbon additives is considered. The control system solves the problem of finding the concentration of nano-additives to obtain coatings with the best quality indicators.

Index terms: intellectual control system, nano-modified electroplating coating.

В настоящее время в различных областях техники и отраслях промышленности большую роль играют гальванические покрытия. Они применяются для придания поверхности изделий специальных свойств, которыми изделия не обладали ранее. Важнейшим показателем качества покрытия является равномерность распределения толщины наносимого металла по поверхности детали. Одним из методов повышения равномерности покрытия является использование добавок наноматериалов в гальванические электролиты. Повышение равномерности объясняется воздействием распределенных в электролите наноуглеродных материалов на поляризационные эффекты.

Задача получения покрытий с оптимальной равномерностью заключается в поиске концентрации нанодобавок. Для решения поставленной задачи используется математическая модель, включающая следующие уравнения:

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

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

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

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

$$\varphi + F_1(i_a) | S_a = U ; \quad \varphi - F_2(i_k, C_{\text{нм}}) | S_k = 0 ,$$

где R – критерий неравномерности; S_k – площадь поверхности катода; $\delta(x, y, z)$ – толщина покрытия в точке катода с координатами (x, y, z) ; $\delta^{\min}$ – минимальная толщина покрытия; Θ – электрохимический эквивалент металла покрытия; ρ – плотность металла покрытия; T – время нанесения покрытия; $\eta(x, y, z, \tau)$ – катодный выход по току; τ – текущее время; i_k, i_a – катодная и анодная плотности тока, соответственно; χ – электропроводность электролита; $\varphi(x, y, z)$ – потенциал электрического поля; S_n – площадь поверхности изолятора; n – нормаль к поверхности изолятора; U – напряжение в ванне; S_a – площадь поверхности анода; $F_1(i_a)$ – функция анодной плотности тока, учитывающая поляризацию на аноде; $F_2(i_k, C_{\text{нм}})$ – функция катодной плотности тока и концентрации нанодобавки $C_{\text{нм}}$, учитывающая поляризацию на катоде.

Необходимо, используя экспериментальные данные получения наномодифицированных гальванических покрытий при различных концентрациях нанодобавок, решить обратную задачу по-

иска поляризационной зависимости $F_2(i_k, C_{\text{нм}})$. На данном этапе используется интеллектуальная подсистема, позволяющая регуляризовать некорректную обратную задачу.

Т. С. Хорев, К. С. Лельков, В. А. Петрухин, М. Б. Шумов (ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н. Е. Жуковского, Москва, Россия)

ДВУХОСНЫЙ КОЛЕСНЫЙ НАЗЕМНЫЙ РОБОТ

Аннотация. Рассмотрен вариант построения наземного двухосного колесного робота для выполнения задач мониторинга аэродромной инфраструктуры при охране и послеполетном осмотре воздушного судна. Выявлены особенности применяемой системы управления движением по заданному маршруту.

T. S. Khorev, K. S. Lelekov, V. A. Petruhin, M. B. Shumov (Moscow Aviation Institute (National Research University); The Central Aerohydrodynamic Institute named after Professor N. Zhukovsky, Moscow, Russia)

BIAXIAL GROUND WHEELED ROBOT

Annotation. The variant of construction of a ground-based biaxial wheeled robot to perform the tasks of monitoring the airfield infrastructure in the protection and post-flight inspection of the aircraft is considered. The features of the applied system of traffic control on a given route are revealed.

Двухосный колесный наземный робот в рассматриваемом варианте представляет собой платформу, перемещающуюся по заданной траектории на подстилающей поверхности с помощью двух ведущих колес с независимым индивидуальным управлением и самоориентирующимся опорным третьим колесом. Робот предназначен для мониторинга аэродромной инфраструктуры, в частности для охраны и послеполетного осмотра воздушного судна на стоянке. На платформе робота расположены: лазерный дальномер; камера кругового обзора; датчики температуры, давления и влажности; блоки питания; вычислители Jetson TK1 и stm32f4. Робот осуществляет бесперебойное движение по заданному оператором маршруту в течение нескольких часов с дальнейшей постановкой на подзарядку. Навигация робота на маршруте осуществляется на основе комплексного использования данных от одометров (в данном случае одометры дают возможность определять не только линейные параметры движения, но и угловые), микромеханического курсового гироскопа и GPS. В соответствии с алгоритмами, представленными в работах [1, 2], при движении по маршруту и при объезде препятствий на

основе сигналов от лазерного дальномера осуществляется минимизация ошибок следования по траектории, получаемых путем сравнения заданных координат с их текущими значениями, поступающими от навигационной системы, определяются требуемые значения линейных и угловых скоростей перемещения робота. Разности между этими требуемыми скоростями и их текущими значениями поступают на ПИД-регуляторы, выходы которых формируют управляющие моменты на колесах. Разработан экспериментальный образец и проведены предварительные натурные исследования робота.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-08-00928\18.

Библиографический список

1. **Хорев Т. С.** Алгоритм обнаружения препятствий и корректировки контрольных точек маршрута наземного колесного модуля: сб. тр. XX юбил. конф. молодых ученых «Навигация и управление движением». СПб.: Изд-во «Электронприбор», 2018.
2. **Лельков К. С.** Алгоритм обнаружения препятствий и корректировки контрольных точек маршрута наземного колесного модуля: сб. тр. XX юбил. конф. молодых ученых «Навигация и управление движением». СПб.: Изд-во «Электронприбор», 2018.

УДК 681.5.011

А. Н. Грибков, e-mail: GribkovAlexey@yandex.ru, Д. Ю. Муромцев, д-р техн. наук, Д. В. Калашников
(ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия)

АНАЛИЗ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОМЕРНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Аннотация. Рассмотрены теоретические и практические аспекты полного анализа задач оптимального управления многомерными технологическими объектами при наличии случайных возмущений.

Ключевые слова: метод анализа, задача оптимального управления, многомерный технологический объект, возмущающие воздействия.

A. N. Gribkov, D. Yu. Muromtsev, D. V. Kalashnikov (Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

THE ANALYSIS OF THE OPTIMAL CONTROL PROBLEMS OF THE MULTIDIMENSIONAL TECHNOLOGICAL OBJECTS TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF DISTURBANCES

Abstract. The theoretical and practical aspects of the complete analysis of the problems of optimal control of multi-dimensional technological objects in the presence of random disturbances are considered.

Index terms: analysis method, optimal control problem, multidimensional technological object, disturbing effects.

При проектировании информационно-управляющих систем многомерными технологическими объектами значительное внимание уделяется вопросам помехоустойчивости, поскольку наличие решения задачи оптимального управления (ЗОУ) в значительной степени зависит от интенсивности и характера влияния возмущающих воздействий. Случайные возмущения могут приводить к нежелательным эффектам в поведении управляемых объектов, поэтому их необходимо учитывать уже на этапе разработки алгоритмического обеспечения системы, и, в частности, на этапе анализа ЗОУ.

На практике для получения результатов полного анализа ЗОУ с учетом случайных возмущений возможно применение аналитико-графического метода, включающего шесть основных этапов:

- 1) нормирование ЗОУ (нормируются значения временного интервала, управляющих и возмущающих воздействий);
- 2) получение решения нормированной ЗОУ;
- 3) расчет значений синтезирующих переменных;

4) построение области существования решения ЗОУ в пространстве синтезирующих переменных;

5) практическое исследование области существования решения ЗОУ при наличии случайных возмущений для заданного массива исходных данных [1];

6) определение возможных видов функций оптимального управления и соотношений для расчета их параметров.

По результатам полного анализа ЗОУ для конкретного объекта формулируются требования к алгоритмическому обеспечению информационно-управляющей системы, связанные с необходимостью применения алгоритмов помехоустойчивого оптимального управления, позволяющих снизить негативное влияние возмущающих воздействий и повысить вероятность достижения цели управления.

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

Библиографический список

1. Грибков, А. Н., Артемова С. В., Куркин И. А., Подхватилин П. А. Метод исследования области существования решения задачи оптимального управления при наличии случайных возмущений // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2012. Т. 18, № 2. С. 345 – 349.

References

1. Gribkov A. N., Artemova S. V., Kurkin I. A., Podhvatilin P. A. Method of study the field of existence of the solution of the optimal control problem in the presence of random disturbances // Transactions of Tambov state technical University. 2012. V. 18, № 2. P. 345 – 349.

УДК 681.325.65

В. А. Логинов, канд. техн. наук, e-mail: loginovva@mpei.ru, А. С. Ефимов, студент (ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛОГИКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЛОКА ОБРАБОТКИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНЕРА СРЕДСТВАМИ ЯЗЫКА ОПИСАНИЯ АППАРАТУРЫ НА БАЗЕ ПЛИС

Аннотация. Рассмотрено проектирование функциональных узлов блока обработки, контроля, управления и синхронизации, предназначенного для контроля за положением рефлектора спутниковой антенны.

Ключевые слова: блок обработки, лазерный сканер, ПЛИС.

V. A. Loginov, A. S. Efimov (National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

DESIGNING THE PROCESSING UNIT LOGIC OF THE OPERATION FOR A SPECIALIZED LASER SCANNER USING THE HARDWARE DESCRIPTION LANGUAGE OF BASED ON PLD

Abstract. The design of functional units of processing, control and synchronization block intended to control the position of the reflector of the satellite antenna is considered.

Index terms: processing unit, laser scanner, PLD.

Для улучшения направленных свойств спутниковой антенны требуется рефлектор, форма которого может существенно отклоняться от идеала на критическую величину в результате тепловых и механических воздействий. Негативное влияние внешних факторов приводит к существенным потерям мощности радиосигнала. В настоящее время на предприятии ОАО «НПП «Геофизика-Космос» ведется разработка специализированного лазерного сканера, благодаря которому возможно осуществлять контроль за положением и формой рефлектора антенны.

Задача данной работы формулируется следующим образом: необходимо составить программную модель блока обработки, контроля, управления и синхронизации (БОКУС) специализированного лазерного сканера на языке описания аппаратуры *Verilog* с последующей запи-

сью конфигурационного файла, сформированного в специальной среде разработки, в память программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) фирмы *Xilinx* семейства *Spartan-3* (требование заказчика) [1, 2].

На основе проведенных исследований составлена модель работы функциональных узлов БОКУС для специализированного лазерного сканера на языке *Verilog*. С помощью модуля симуляции *ISim (ISE Simulation)*, входящего в состав среды разработки *Xilinx ISE*, произведено тестирование программного кода и получены необходимые временные диаграммы. Используя отладочный комплекс, в состав которого входят программатор фирмы *Xilinx*, отладочная плата с ПЛИС, а также персональный компьютер с предварительно установленной САПР *Xilinx ISE*, удалось осуществить запись разработанного

ранее программного обеспечения в конфигурационную память ПЛИС *Spartan-3* фирмы *Xilinx*. В перспективе планируется осуществить проектирование функциональных узлов БОКУС уже на базе отечественной ПЛИС.

Библиографический список

1. Соловьев В. В. Основы языка проектирования цифровой аппаратуры Verilog. М.: Горячая линия – Телеком, 2014. 206 с.

2. Зотов В. Ю. Проектирование цифровых устройств на основе ПЛИС фирмы Xilinx в САПР WebPACK ISE. М.: Горячая линия – Телеком, 2003. 624 с.

References

1. Solovyev V. V. The Basics of design of digital hardware Verilog. M.: Hot Line – Telecom, 2014. 206 p.
2. Zotov V. Yu. Design of digital devices based on PLD in Xilinx ISE WebPACK CAD. – M.: Hot Line – Telecom, 2003. 624 p.

УДК 004.415.23

В. И. Бусурин, В. М. Медведев, А. С. Карабицкий, e-mail: karabox89@gmail.com
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия)

ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНТРОЛЬНО-ПРОВЕРОЧНОЙ АППАРАТУРЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. В статье описаны принципы автоматического формирования программного обеспечения контрольно-проверочной аппаратуры систем управления при помощи модульной архитектуры, а также рассмотрен алгоритм анализа цифровой информации для задач автоматического формирования программного обеспечения.

Ключевые слова: система управления, контроль, контрольно-проверочная аппаратура, программное обеспечение, модуль.

V. I. Busurin, V. M. Medvedev, A. S. Karabitsky (Moscow Aviation Institute
(National Research University), Moscow, Russia)

PRINCIPLES OF AUTONOMOUS SOFTWARE GENERATION FOR CONTROL SYSTEMS TESTING HARDWARE

Abstract. The article describes principles of autonomous software generation for control systems testing hardware by means of modular architecture design and review of digital information analysis algorithm for autonomous software generation tasks.

Index terms: control system, control, control and verification equipment, software, module.

Для проведения контроля функционирования, работоспособности, поиска мест отказа, определения причин отказа при изготовлении опытного и серийного образца, восстановления, ремонта, для проведения приемосдаточных, механических и прочих видов испытаний систем управления, используют контрольно-проверочную аппаратуру (КПА). Аппаратная и программная части КПА разрабатываются индиви-

дуально для нужд диагностирования определенной системы управления. Для упрощения разработки и повышения универсальности предлагается переработка методики проектирования программного обеспечения КПА, позволяющая в автоматическом режиме формировать рабочую программу КПА для контроля и диагностики нескольких схожих инерциальных систем управления.

Формирование рабочей программы предполагается проводить путем присоединения дополнительных программных модулей (ДПМ) [1], отвечающих за уникальные для определенной системы управления (СУ) оборудование или функционал, к базовому программному обеспечению (БПО). Разработанное БПО остается неизменным при контроле и диагностике различных СУ. ДПМ разрабатываются одновременно с КПА и обладают уникальными особенностями. Взаимодействие между модулями осуществляется при помощи протоколов взаимодействия.

Уникальная для каждой КПА аппаратная составляющая, такая как набор датчиков, число плат-носителей мезонинов, линий мультиплексного информационного обмена (МКИО) [3] и других интерфейсов, позволяет путем самоконтроля при помощи имитатора СУ определить большую часть необходимых ДПМ. Пробный запуск технологического комплекта ИСУ и анализ с использованием ГОСТ, мониторов линий МКИО (выделение командных и ответных слов, определение формата) позволит определить недостающие ДПМ.

Задачу автоматического формирования рабочей программы контрольно-проверочной аппаратуры предполагается проводить в два этапа: первым этапом автоматизированного формирования программного обеспечения является определение модели контролируемой СУ, вторым этапом – определение набора дополнительных программных модулей.

Библиографический список

1. Бусурин В. И., Медведев В. М., Карабицкий А. С. Особенности модульного построения систем контроля и диагностики инерциальных систем управления // Труды МАИ. 2017. № 92.
2. Алексеев А. А., Солодовников А. И. Диагностика в технических системах управления.: учеб. пособие для вузов / под ред. В. Б. Яковлева. СПб.: Политехника, 1997. 188 с.
3. ГОСТ Р 52070–2003. Интерфейс магистральный последовательный электронных модулей. 2003. 23 с.
4. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влассидес Дж. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. СПб.: Питер, 2007. 366 с.
5. Брауде Э. Технология разработки программного обеспечения. СПб. Питер, 2004. 659 с.

References

1. Busurin V. I., Medvedev V. M., Karabitsky A. S. Features of modular design of control and diagnostic systems for inertial control systems // Trudy MAI. 2017. № 92.
2. Alekseev A. A., Solodovnikov A. I. Diagnostics in technical control systems. SPb.: Politechnika, 1997. 188 p.
3. GOST R 52070–2003. Serial interface of serial electronic modules. 2003. 23 p.
4. Erich Gamma, Ralph Johnson, Richard Helm, John Vlissides. Design Patterns Elements of Reusable Object-Oriented Software. SPb.: Piter, 2007. 366 p.
5. Braude E. J. Software Engineering. An Object-Oriented Perspective. SPB.: Piter, 2004. 659 p.

УДК 621.865.8-5

А. В. Зайцев, В. Ю. Лупанчук, Н. А. Киб, О. И. Кузнецов (ФГКВООУ ВО «Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого» Министерства обороны РФ, Балашиха, Россия, e-mail: ug253@mail.ru, raketofflu@mail.ru, shatun003@yandex.ru)

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ НАВИГАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация. Рассматривается возможность формирования индивидуального кластера группировки подвижных объектов при функционировании в естественном пространстве. Представлены этапы применения динамических объектов при реализации информационного подхода, который позволяет определить наличие или отсутствие требуемого количества и качества информации для принятия управленческих решений.

Ключевые слова: навигация, подвижный объект, интеллектуальная система, кластер.

A. V. Zaitsev, V. Yu. Lupanchuk, N. A. Kib, O. I. Kuznetsov (The Military Academy of Strategic Rocket Troops after Peter the Great, Balashikha, Russia)

INFORMATION APPROACH FOR DECISION-MAKING NAVIGATION OF MOBILE OBJECTS

Annotation. The possibility of forming a separate cluster of mobile objects grouping when working in the natural space. The stages of application of mobile objects in the implementation of the information approach are presented, which makes it possible to determine the presence or absence of the required amount of information for making managerial decisions when performing target tasks.

Index terms: navigation, movable object, intellectual system, cluster.

Навигация динамических объектов основана на применении разнородных типов информационных данных, которые получают независимо от различных видов источников. К основным методам навигации подвижных объектов относятся метод счисления пути, позиционный и обзорно-сравнительный [1, 2].

Одна из наиболее важных проблем подвижных интеллектуальных объектов заключается в невозможности высокоточного определения текущих навигационных параметров в автоматическом режиме функционирования. Ученые пытаются решить эту проблему, используя технический подход [3].

Наряду с техническим подходом, существует информационный, который определяет наличие или отсутствие требуемого количества информации для принятия решений. Рассматриваются этапы применения подвижных интеллектуальных систем: подготовительный – набор исходной информации о точках старта, цели и ТТХ элементов группировки; функционирования в штатном или нештатном режимах – формиро-

вание индивидуального кластера; целевой – принятие управленческих решений элементами группировки. Реализация информационного подхода возможна при использовании радикального подхода к формированию среды подвижных элементов [4].

Библиографический список

1. **Оценка** эффективности вариантов построения интегрированных комплексов навигации, наведения и целеуказания в условиях воздействия помех специального вида / С. Б. Беркович и др. // ИИФ. 2017. № 1(43). С. 2 – 13.
2. **Гончаров В. М., Лупанчук В. Ю.** Современное состояние интеллектуальных комплексов с БЛА при выполнении специальных задач // НКП и их применение: сб. тез. докл. М.: МГППУ, 2018. С. 276–277.
3. **Котов Н. И.** Физико-теоретические основы навигации: тексты лекций. СВН РВ. Серпухов, 2007. 232 с.
4. **Чечкин А. В., Потюпкин А. Ю.** Интеллектуализация сложных технических систем: монография. М.: МО РФ, 2013. 289 с.

References

1. **Estimation** of the effectiveness of the options for constructing integrated navigation, guidance and target designation complexes under the influence of noise of a special kind / S. B. Berkovich et al. // ИФ. 2017. № 1(43). P. 2 – 13.

2. **Goncharov V. M., Lupanchuk V. Yu.** The current state of intelligent complexes with UAVs when

performing special tasks // NCPs and their application: collection of abstracts. M.: MGPPU, 2018. P. 276–277

3. **Kotov N. I.** Physico-theoretical basis of navigation. Texts of lectures. SMI MF. Serpuchov, 2007. 232 p.

4. **Chechkin A. V., Potyupkin A. Yu.** Intellectualization of complex technical systems: Monograph. M.: MO RF, 2013. 289 p.

УДК 62-50

А. Я. Лащев¹, e-mail: anatology.lashev@gmail.com, **В. В. Мешков²**, e-mail: meshkov16@mail.ru
(¹ ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия;

² ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва, Россия)

СИНТЕЗ ГРУБОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Аннотация. Методом покомпонентного формирования управлений синтезирована грубая система управления нестационарным объектом с коррекцией по входу и выходу.

Ключевые слова: эталонная модель, метод покомпонентного формирования управлений, грубая (робастная) система управления, коррекция по входу и выходу.

A. Ya. Lashchev¹, V. V. Meshkov²

(¹ Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia;

² FSBE HE «MIREA – Russian of Technological University», Moscow, Russia)

SYNTHESIS OF COARSE CONTROL SYSTEM OF NON-STATIONARY OBJECTS

Abstract. A coarse control system with input and output correction is synthesized by the method of component-by-component formation of controls.

Index terms: reference model, method of component-by-component formation of controls, rough (robust) control system, input and output correction.

Широкораспространенный ПИД-регулятор наиболее эффективен для управления объектом управления (ОУ) второго порядка. Поэтому разработка структуры регулятора для ОУ любого порядка является актуальной. В данной работе рассматривается процедура построения грубой (робастной) системы управления нестационарным объектом методом покомпонентного формирования управлений (МПФУ) [1, 2]. Заданы дифференциальные уравнения (ДУ) исполнительного устройства (ИУ) и ОУ, на который воздействуют неизмеряемые координатно-параметрические помехи. Интервалы изменения пара-

метров ОУ заданы. Желаемый вид переходных процессов синтезированной системы управления (СУ) задается в виде линейного ДУ стандартной формы (невязки) как функции ошибки и собственной частоты СУ. Измеряется полный вектор состояния.

Требуется синтезировать структуру и параметры регулятора для любого порядка ИУ и ОУ, когда гипотеза о квазистационарности параметров ОУ не выполняется.

С этой целью из ДУ обобщенного ОУ (ООУ) (с учетом динамики ИУ) выделяем невязку СУ и добавляем корректирующее управление

в правую часть для уравнения невязки. Затем выбираем функцию Ляпунова в виде квадратической формы от невязки СУ. Формируем МПФУ первое корректирующее управление, которое представляет собой взвешенную сумму интегральной составляющей и $N - 1$ (N – порядок СУ) производных от ошибки СУ, умноженную на постоянный коэффициент усиления. В частном случае синтезированное корректирующее управление при $N = 2$ совпадает с выходным сигналом ПИД-регулятора. Далее полагаем, что сигнал задания СУ не содержит производных и в результате получим грубую СУ с коррекцией по входу.

Теперь, полагая, что сигнал ошибки СУ равен разности желаемого сигнала, формируемого на выходе подключенной параллельно ООУ эталонной модели, и выхода ОУ, получим второе корректирующее управление и грубую СУ с коррекцией по выходу. В этом случае необходимые для формирования производные в составе корректирующего сигнала можно получить с выхода эталонной модели. Если учесть, что вектор состояния измеряется, то реализация корректирующего сигнала не потребует дифференцирующих устройств как таковых.

Для обеспечения гарантированной устойчивости синтезированных МПФУ грубых СУ воспользуемся теоремой Харитонова об интервальной устойчивости. Для этого предварительно устанавливаются время переходного процесса путем подбора собственной частоты в выражении для корректирующих управлений, выбираются коэффициенты стандартных форм для получения желаемого вида переходных процессов (апериодических или колебательных), согласно теореме Харитонова составляются по критерию

Гурвица четыре уравнения (в общем случае) для свободного движения синтезированных грубых СУ, из которых определяют коэффициент усиления в выражении для корректирующих управлений.

На этом синтез грубой СУ с коррекцией по входу и по выходу закончен. СУ по входу и СУ по выходу могут использоваться совместно и по отдельности. Задача построения грубой СУ нестационарным объектом общего назначения (объектом любой физической природы) решена без использования гипотезы о квазистационарности параметров ОУ.

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

Библиографический список

1. Лашев А. Я. Синтез адаптивных систем управления с использованием идеи отрицательных обратных связей // А и Т. 1994. № 4. С. 108 – 116.
2. Лашев А. Я. Управление жесткостью крепления упругодеформированных элементов конструкций. Приборы и системы Управление, контроль, диагностика. 2006. С. 8 – 12.

References

1. Lashchev A. Ya. Synthesis of adaptive control systems using the idea of negative feedbacks // A and T. 1994. № 4. P. 108 – 116.
2. Lashchev A. Ya. Controlling the rigidity of fastening of elastically deformed structural elements. Devices and systems management, control, diagnostics. 2006. P. 8 – 12.

И. И. Акжигитов, О. В. Соколова (ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»,
Пенза, Россия, e-mail: atpgu@yandex.ru)

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ФОРМИРОВАНИЯ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА НА БАЗЕ SCADA-СИСТЕМЫ DATA RATE

Аннотация. Рассмотрена автоматизированная система управления технологическим процессом формирования бумажного полотна, в частности, на базе SCADA-системы Data Rate.

Ключевые слова: бумажная промышленность, SCADA-система, автоматизированная система управления, вес бумажного полотна.

I. I. Akzhigitov, O. V. Sokolova (Penza State University, Penza, Russia)

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF FORMING A PAPER WEB BASED ON THE SCADA-DATA RATE SYSTEM

Abstract. The automated control system for the technological process of forming a paper web in particular on the basis of the SCADA system Data Rate.

Index terms: paper industry, SCADA-system, automated control system, weight of paper cloth.

Целлюлозно-бумажная промышленность является самым продуктивно-развивающимся элементом народного хозяйства, который в значительной степени влияет на рост экономики страны, где находит свое предназначение теория автоматического управления и регулирования, новые технические средства автоматизации [1]. Автоматизированная система управления реализует процесс формирования бумажного полотна, где изменение давления бумажной массы и давление воздушной подушки носит экстремальный характер. Для обеспечения наиболее эффективного процесса формирования бумажного полотна в бумагоделательной машине использован алгоритм поиска экстремума статической характеристики инерционного объекта [2, 3].

Повышение эффективности процесса формирования бумажного полотна в бумагоделательной машине осуществляется на основе системного подхода с использованием усовершенствованного управления, методов и средств автоматического настройки контуров регулирования функциональных подсистем и компьютерных технологий их анализа и синтеза. Предлагаемая

система автоматизированного управления формирования бумажного полотна относится к оптимизации процессов формирования бумажного полотна и может использоваться при разработке систем контроля веса и плотности бумажного полотна в бумагоделательных машинах. Применение автоматизированной системы направлено на разработку эффективного метода формирования бумажного полотна (снижается перерасход бумажной массы) и уменьшения брака путем повышения эффективности ведения процесса выпуска массы на полотно, который на практике имеет экстремальный характер.

Алгоритм экстремального регулирования состоит из следующих этапов:

- 1) считывание входного и выходного сигналов с экстремального объекта;
- 2) вычисление коэффициентов АРСС-модели по рекуррентному методу наименьших квадратов;
- 3) вычисление коэффициента передачи объекта;
- 4) поиск управляющего воздействия, обеспечивающего нулевое значение коэффициента

передачи с использованием прямых методов поиска нуля функций.

Построенная модель показывает, что алгоритм экстремального регулирования процессов формирования бумажного полотна существенно позволяет увеличить энергоэффективность и уменьшение расхода бумажной массы. Несмотря на высокий уровень помех, отклонение системы от точки экстремума не превышает 10 %, что подтверждает эффективность предлагаемого алгоритма поиска экстремума, что позволяет снизить расход массы на 23 %.

Библиографический список

1. **Иванов С. Н.** Технология бумаги. М.: Школа бумаги, 2006. 310 с.
2. **Технология** целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. 1. Сырье и производство полуфаб-

рикатов. Ч. 3. Производство полуфабрикатов. СПб.: Политехника, 2004. 315 с.

3. **Технология** целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. 2. Производство бумаги и картона. Ч. 1. Технология производства бумаги и картона. СПб.: Политехника, 2005. 423 с.

References

1. **Ivanov S. N.** Paper Technology. M.: Publishing Shkola bumagi, 2006. 310 p.
2. **Technology** of pulp and paper production. T. 1. Raw materials and production of semi-finished products. Part 3. Production of semi-finished products. SPb.: Publishing Politekhnik, 2004. 315 p.
3. **Technology** of pulp and paper production. T. 2. Manufacture of paper and paperboard. Part 1. Technology of paper and cardboard production. SPb.: Publishing Politekhnik, 2005. 423 p.

УДК 004.891

А. О. Афанасьева, e-mail: AfanasyevaAO@mpei.ru, **П. Р. Варшавский**, e-mail: VarshavskyPR@mpei.ru
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

МЕТОДЫ КОГНИТИВНОЙ ГРАФИКИ КАК СРЕДСТВО ОБРАЗНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Аннотация. Описывается формирование когнитивного образа и базы решающих правил для его отображения в системе поддержки принятия решений при мониторинге состояния сложного технологического объекта.

Ключевые слова: когнитивная графика, когнитивный образ, система поддержки принятия решений.

A. O. Afanasyeva, P. R. Varshavskiy (National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

METHODS OF COGNITIVE GRAPHICS AS A MEANS OF FIGURING INFORMATION FOR DECISION-MAKING SUPPORT SYSTEMS

Abstract. The formation of the cognitive image and the base of decision rules for its mapping in the decision-support system for monitoring the state of a complex technological object is described.

Index terms: cognitive graphics, cognitive image, decision-making support system.

Средства образного представления информации для принятия решений, основанные на методах когнитивной графики, ориентированы на использование механизмов наглядно-образного мышления. Они в последнее время находят все большее применение в интеллекту-

альных системах поддержки принятия решений (СППР) для мониторинга и оперативного управления сложными и экологически опасными технологическими объектами [1]. Под когнитивным образом (КО) понимается субъективная репрезентация состояния объекта контроля и управле-

ния в виде связанного набора графических динамических компонент представления состояния и правил, описывающих их технологическое взаимовлияние в различных ситуациях, которые в совокупности позволяют оператору образно оценить текущую ситуацию и выработать адекватные ей управляющие действия.

В работе предложен КО для подсистемы компенсации объема (барботера) в контуре реактора АЭС (ВВЭР-1000) [2], который, наряду со стандартной мнемосхемой подсистемы, ориентирован на улучшение восприятия человеком-оператором СППР параметров, характеризующих состояние сложного технологического объекта. Данный КО представляет из себя многоугольник, разделенный на сектора (для барботера – 6 секторов), каждый из которых соответствует аналоговому параметру. Изменение цвета сектора отражает изменение значений данного параметра (норма, выход за уставки и др.). Линиями-лучами, выходящими из многоугольника, отражаются характеристики состояния дискретных параметров системы барботирования. Для корректного отображения КО необходимо установить связь между характеристиками подсистемы и КО. Такая связь устанавливается

базой решающих правил продукционного типа «ЕСЛИ, ТО», которая была сформирована на основе экспертной базы знаний по подсистеме барботера. КО для мониторинга состояния барботера АЭС был протестирован с помощью разработанного генератора для моделирования изменений в его состоянии на основе данных из оперативной БД.

Доклад подготовлен при финансовой поддержке РФФИ (проекты 17-07-00553-а, 18-01-00459-а).

Библиографический список

1. Башлыков А. А., Еремеев А. П. Основы конструирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в атомной энергетике: учебник. М.: ИНФРА-М, 2017.
2. Маргулова Т. Х. Атомные электрические станции: учебник для вузов. Изд. 5-е. М.: ИздАТ, 1994. 289 с.

References

1. Bashlikov A. A., Eremeev A. P. Fundamentals of designing intelligent decision support systems in nuclear power engineering: textbook. M.: INFRA-M, 2017.
2. Margulova T. C. Nuclear power plants: Textbook for high schools. Izd. 5-e. M.: IzdAT, 1994. 289 p.

Секция 2

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

Е. Д. Балакина, бакалавр каф. информационной безопасности, науч. рук. – д-р техн. наук, проф. Т. М. Татарникова (Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ DATA MINING ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕКСТА

Аннотация. Предложено последовательное решение задачи анализа текста с применением технологии Text Mining.

E. D. Balakina (State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russia)

DATA MINING TECHNOLOGY FOR INTELLIGENT TEXT ANALYSIS

Annotation. A sequential solution of the text analysis problem with the use of Text Mining technology is proposed.

Функциональные возможности современной технологии Text Mining распространяются на широкий класс задач, связанных с поиском информации, автоматической генерации текста, анализом рынков. В последние пять лет открылся целый спектр отраслей, в которых возможности Text Mining только начинают использоваться. К их числу относятся корпоративная бизнес-аналитика, мониторинг социальных медиа и деловая разведка [1].

Text Mining – это технология анализа текстов, позволяющая обрабатывать большие объемы неструктурированной информации, извлекать знания и высококачественную информацию из текстовых массивов. Инструменты Text Mining позволяют автоматически анализировать содержание баз данных, блогов и других видов информационного взаимодействия. Такая технология глубинного анализа текстов способна «просеивать» большие объемы неструктурированной информации и выявлять из них значимое, чтобы человеку не приходилось самому тратить время на добычу ценных знаний «вручную» [2].

В результате применения комплекса техник Text Mining может быть получен шаблон, способствующий извлечению семантических связей

между отдельными словами, причем только понимание смысла текста происходит с участием человека.

В работе рассматривается применение технологии Text Mining в вопросах предотвращения потенциальных угроз, скрытых в сообщениях. В настоящее время проблема безопасности в мессенджерах, социальных сетях, анализ этих данных позволит пресечь нежелательную утечку информации или планирование враждебных действий по отношению к кому- или чему-либо [3].

Предлагается программный комплекс, реализующий технологию Text Mining для вскрытия потенциальных угроз в анализируемом тексте, представляющий собой прототип экспертной системы.

Программный комплекс состоит из следующих модулей (рис. 1):

- решателя (интерпретатора);
- рабочей памяти, называемой также базой данных (БД);
- базы знаний (БЗ);
- компонентов приобретения знаний;
- объяснительного компонента;
- компонента визуализации результата [4].

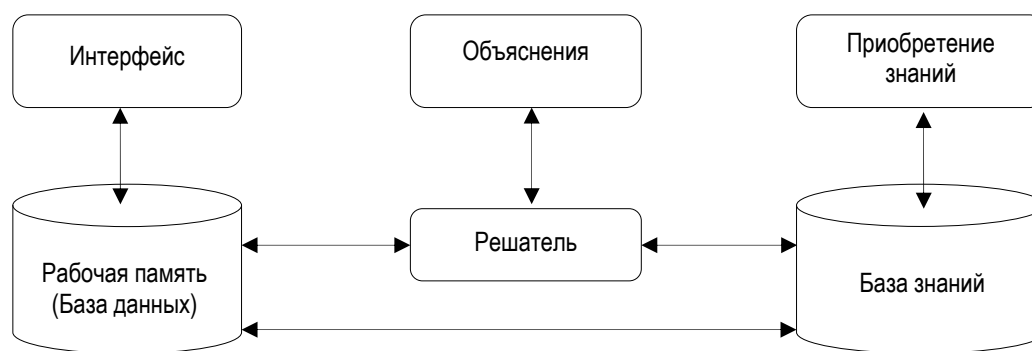


Рис. 1. Структура программного комплекса

База данных предназначена для хранения исходных и промежуточных данных задачи.

База знаний предназначена для хранения долгосрочных данных.

Достоверность выявления скрытых шаблонов планируется проверить на открытых источниках в сети Интернет, т.е. пользователях социальных сетей.

Разрабатываемый программный комплекс позволит перейти от данных к их смыслу сделать выводы об информационной безопасности текста.

Решатель, используя исходные данные из рабочей памяти и знания, формирует правила формирования семантической сети.

Компонент приобретения знаний необходим для наполнения экспертной системы новыми знаниями. Это могут быть новые словарные слова, новые алгоритмы обработки текста и др.

Объяснительный компонент позволяет увидеть промежуточные результаты, что объясняет, как система получила решение задачи. Интерфейс позволяет реализовать удобный режим работы

с экспертной системой за счет удобного ввода исходных данных, визуализации результатов.

Достоверность выявления скрытых шаблонов планируется проверить на открытых источниках в сети Интернет, т.е. на пользователях социальных сетей.

Разрабатываемый программный комплекс позволит перейти от данных к их смыслу, сделать выводы об информационной безопасности текста.

Библиографический список

1. Кутукова Е. С. Технология Text mining // Научные труды SWorld. 2013. С. 33 – 36.
2. Анализ данных и процессов / А. А. Баргесян, М. С. Куприянов, И. И. Холод и др. СПб.: БХВПетербург, 2009. 512 с.
3. Almeida T. A., Yamakami A. Advances in spam filtering techniques // Computational Intelligence for Privacy and Security Studies in Computational Intelligence. 2012. V. 394. P. 199 – 214.
4. Такахаси Син. Занимательная статистика. Факторный анализ. М.: ДМК Пресс, 2015. 146 с.

УДК 004.056.53

А. А. Татарникова, магистр каф. безопасности информационных систем
(Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург,
Россия, e-mail: aatatar@gmail.com)

ТРУДНОСТИ РАБОТЫ С ПЕРСОНАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ В МЕДИЦИНСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация. Исследуются проблемы работы с персональными данными в медицине и их защите в связи с постепенным переходом к электронному здравоохранению и внедрению таких технологий, как телемедицина, Интернет медицинских устройств и мобильное здравоохранение.

Ключевые слова: электронное здравоохранение, защита данных, персональные данные, информационная система.

A. A. Tatarnikova (State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russia)

DIFFICULTIES IN WORKING WITH PRIVATE DATA IN MEDICAL INFORMATION SYSTEMS

Abstract. We consider problems in working with private data in medicine and protection of it due to gradual transition to electronic healthcare and implementation of such technologies as telemedicine, the internet of healthcare things and mobile healthcare.

Index terms: electronic healthcare, data protection, private data, information system.

Использование современных технологий в медицине приводит к учащению случаев нарушения защиты персональных данных пациентов. Персональные данные – любая информация, относящаяся к прямо или косвенно определенному, или определяемому физическому лицу (субъекту персональных данных), в том числе: его фамилия, имя, отчество; год, месяц, дата и место рождения; адрес, семейное, социальное, имущественное положение, образование, профессия, доходы, другая информация [1]. Например, паспортные данные, финансовые ведомости, медицинские карты, биометрия, другая идентификационная информация личного характера. Информационная система персональных данных (ИПДн) – совокупность содержащихся в базах данных персональных данных и обеспечивающих их обработку информационных технологий и технических средств [1].

На момент написания настоящей работы тип актуальных угроз для каждого медицинского учреждения оценивается отдельно, из-за чего на данный момент невозможно для всех медицинских учреждений точно определить уровень защищенности персональных данных при их обработке в информационных системах и соответствующие требования, которые необходимо реализовывать для нейтрализации угроз безопасно-

сти персональных данных [2]. Однако можно выявить необходимые элементы медицинской информационной системы для обработки персональных данных: идентификация и аутентификация пользователей, разграничение доступа; контроль по переносу информации на съемные носители; шифрование персональных данных и использование средств защиты информации, прошедших процедуру оценки соответствия требованиям законодательства Российской Федерации в области обеспечения безопасности информации.

Библиографический список

1. **О персональных данных:** федер. закон. ред. от 22.02.2017 // Собрание законодательства РФ. 1 ч. М., 2006. № 31.
2. **Об утверждении** требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных: Постановление Правительства РФ от 01.11.2012 // Собрание законодательства РФ. М., 2012. № 45.

References

1. **O personal'nyh dannyh:** feder. zakon. red. ot 22.02.2017 // Sbranie zakonodatel'stva RF. 1 ch. M., 2006. № 31.
2. **Ob utverzhdenii trebovanij k zashchite personal'nyh dannyh pri ih obrabotke v informacionnyh sistemah personal'nyh dannyh:** Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 01.11.2012 // Sbranie zakonodatel'stva RF. M., 2012. № 45.

УДК 519.7

А. А. Коновалов, Ю. Б. Чечиков, e-mail: yourych@mail.ru (ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (государственный технический университет)», Москва, Россия)

ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТЫ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ

Аннотация. Рассмотрен общий подход к построению систем обнаружения вторжений в компьютерную сеть.

Ключевые слова: сеть, обнаружение вторжений, анализ событий.

A. A. Konovalov, Yu. B. Chechikov (Moscow Aviation Institute (State Technical University), Moscow, Russia)

TECHNOLOGY OF INTRUSION DETECTION SYSTEMS

Abstract. The article discusses a General approach to the construction of intrusion detection systems in the computer network.

Index terms: network, intrusion detection, analysis of events.

На сегодняшний день почти не осталось предметных областей, где бы не использовались компьютеры для хранения или обработки информации. Предприятия используют компьютерные сети для автоматизации своей работы, а те в свою очередь оперируют большим количеством конфиденциальных данных.

Для предотвращения получения данных предприятия лицами, для которых эти данные не предназначались, широко применяются системы обнаружения вторжений (СОВ). СОВ – это системы, которые автоматизируют процесс просмотра событий в компьютерной сети и анализируют их в целях обнаружения проникновений.

Основные архитектурные компоненты СОВ – система, на которой работает система обнаружения вторжений, и система, за которой СОВ ведет наблюдение. СОВ, как правило, состоят из нескольких компонент: сенсора, отслеживающего события в сети, анализатора собранных событий, компонента принятия решения о реагировании.

Системы обнаружения вторжений по классификации разделяют на локальные (host-based) и сетевые (network-based). Под локальной СОВ понимают ПО, выполняющееся на рабочей машине пользователя и работающее с информацией внутри единственного компьютера. Они используют источники информации от операционной системы, а также лог-файлы системы. Локальные СОВ с большой точностью позволяют определить только те процессы, которые

имеют отношение к конкретной атаке в ОС, а также видеть последствия предпринятой атаки, так как имеют доступ к системной информации, файлам данных и системным процессам, являющимся целью атаки. Однако основными коммерческими СОВ являются сетевые. Они могут определять атаки, захватывая и анализируя сетевые пакеты между компьютерами сети, получая информацию о попытках несанкционированного доступа.

Имеется несколько видов анализа событий СОВ. Распознавание сигнатур базируется на поиске совпадения последовательности данных в сетевых пакетах с неким образцом, имеющимся в системе. Под *сигнатурой* понимается строка программы, указывающая на характеристику вредного трафика – такая подпись может содержать ключевую фразу или команду, на основе которой СОВ делает вывод об опасности. Другой вид анализа – определение аномалий, основывается на распознавании необычного поведения на хосте или в сети. Предполагается, что атаки отличаются от нормальной деятельности и могут быть определены системой.

После того как СОВ получила и проанализировала информацию о событии, она создает ответы. Ответы могут представлять собой отчеты определенного формата или различаться между собой. Отчеты отправляются операторам, которые имеют полномочия выполнять служебные расследования на основе этих событий.

УДК 519.852

А. Н. Будяков, соискатель каф. информационных технологий управления,
М. Г. Матвеев, д-р техн. наук, проф., зав. каф. информационных технологий управления,
 e-mail: mgmatveev@yandex.ru (ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,
 Воронеж, Россия)

ЦЕЛОЧИСЛЕННАЯ ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. Рассмотрен подход к решению задачи выбора ресурсов и поставщиков. Предлагается модель выбора, обеспечивающая одновременное удовлетворение техническим и коммерческим требованиям. Приведен пример использования предложенной модели.

Ключевые слова: задача о назначении, граф, закупки, распределение ресурсов.

A. N. Budyakov, M. G. Matveev
 (Voronezh State University, Voronezh, Russia)

THE INTEGER PROBLEM OF OPTIMAL SELECTION AND DISTRIBUTION OF EQUIPMENT

Abstract. The approach to solving the problem of selecting resources and suppliers using a model of choice that provides simultaneous satisfaction of technical and commercial requirements is described.

Index terms: assignment problem, graph, purchase, resource distribution.

Актуальной задачей синтеза технической системы является выбор такого состава системных элементов, который обеспечит возможность достижения максимальной функциональной эффективности системы. В частности, эта задача возникает при синтезе производственной системы, представленной совокупностью взаимодействующих элементов оборудования. Необходимо выбрать оборудование, которое будет наиболее адекватно производственным условиям. При этом требования к выбору формулируются в виде задания совокупности в общем случае нечетких (интервальных) значений целевых параметров потенциального оборудования, описывающих множество альтернативных вариантов [1]. Подход, основанный на нечеткости требований, обеспечивает взаимозаменяемость альтернатив и возможность их оптимального выбора. Критерий оптимальности представляет взвешенное соответствие (μ и η) параметров оборудования нечетко заданным требованиям.

Задача описывается как модель целочисленного линейного программирования [2]

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda \sum_i \sum_j \mu_{ij} x_{ij} + (1 - \lambda) \sum_j \sum_k \eta_{jk} y_{jk} \rightarrow \max_{x, y}; \\ \sum_j y_{jk} = v_k; \forall k; \\ \sum_j x_{ij} = a_i; \forall i; \\ \sum_i x_{ij} = \sum_k y_{jk}; \forall j; \\ x_{ij}; y_{jk} \in \{0; Z^+\}; x_{ij} \geq 0; y_{jk} \geq 0; \forall i, j, k. \end{array} \right.$$

Здесь x_{ij} – количество j -го типа оборудования, закупаемое у i -го поставщика; y_{jk} – количество j -го типа оборудования, поставляемое k -й производственной структуре; v_k – количество оборудования, необходимое k -й производственной структуре; a_i – количество оборудования, располагаемое поставщиком.

С учетом целочисленного характера задачи ее решение осуществлялось с использованием метода ветвей и границ.

Численный пример апробации модели показал ее работоспособность, логичные выбор поставщиков и распределение закупленных ресурсов по заказчикам. Модель может быть

использована закупщиком для поддержки принятия решений при организации закупок.

Особенность модели состоит в том, что она обеспечивает одновременное удовлетворение коммерческим требованиям при выборе поставщика и техническим требованиям при распределении закупленных ресурсов по заказчикам. В условиях противоречивости коммерческих и технических требований задачу можно рассматривать как многоцелевую. Предложенная линейная свертка позволяет найти одно из компромиссных решений с помощью варьирования коэффициента λ , что обеспечивает возможность адаптации модели к меняющимся требованиям финансовой и технической политики компании.

Библиографический список

1. Будяков А. Н. Формализация требований технической политики при автоматизации выбора оборудования нефтегазовой компании на основе

нечеткой логики // Системы управления и информационные технологии. 2017. № 4. С. 29 – 33.

2. Будяков А. Н., Гетманова К. Г., Матвеев М. Г. Решение задачи выбора ресурсов и их поставщиков в условиях противоречивости технических и коммерческих требований // Вестник Воронежского государственного университета, серия «Системный анализ и информационные технологии». 2017. № 2. С. 66 – 71.

References

1. Budyakov A. N. Formalization of technical policy requirements for automation of the selection of oil and gas company equipment based on fuzzy logic // Control Systems and Information Technology. 2017. № 4. С. 29 – 33.

2. Budyakov A. N., Getmanova K. G., Matveev M. G. Solving the problem of selecting resources and their suppliers in the face of conflicting technical and commercial requirements // Bulletin of Voronezh State University, series «System Analysis and Information Technologies». 2017. № 2. P. 66 – 71.

УДК 582.87

Н. И. Сельвесюк, д-р техн. наук, проф. РАН, зам. ген. дир. (ФГУП «ГосНИИАС», Москва, Россия);
Ю. Г. Веселов, д-р техн. наук, доц., проф. каф., А. С. Островский, канд. техн. наук, доц. каф.,
e-mail: aleksandr_ostrovsky@mail.ru (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н. Э. Баумана», Москва, Россия)

К ВОПРОСУ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ПРИНЦИПАХ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ

Аннотация. Предложен метод обработки изображений, который обеспечивает формирование изображений по пространственно-частотным характеристикам, близким к воспринимаемым зрительным анализатором человека.

Ключевые слова: оптико-электронная система, функция передачи модуляции, зрительный анализатор.

N. I. Selvesyuk (FSUE «GosNIIAS», Moscow, Russia);
Yu. G. Veselov, A. S. Ostrovsky (BMSTU, Moscow, Russia)

TO THE QUESTION OF IMAGE PROCESSING ON THE PRINCIPLES OF VISUAL PERCEPTION

Abstract. In this paper, an image processing method is proposed that provides imaging with close to the perceived human visual analyzer spatially-frequency characteristics.

Index terms: optoelectronic system, modulation transfer function, visual analyzer.

Обеспечение близких к воспринимаемым зрительным анализатором пространственно-частотных характеристик изображения предпола-

гает обработку изображения таким образом, чтобы динамика изменения контрастов объектов, находящихся на различном удалении (различной

пространственной частоте) от системы, соответствовала динамике изменения контрастов, воспринимаемых зрительным анализатором. Следовательно, должно быть обеспечено равенство функций передачи модуляции оптико-электронной системы и зрительного анализатора.

Для коррекции получаемых оптико-электронной системой изображений необходимо оценить пространственно-частотную характеристику оптико-электронной системы [1]. На следующем этапе необходимо определить параметры функций передачи модуляции зрительного анализатора [2], соответствующей полученной функции оптико-электронной системы. Далее, исходя из отличий в формируемых пространственно-частотных спектрах, должна быть сформирована и использована спектральная корректирующая функция для исправления формируемых изображений.

Для исправления пространственно-частотных характеристик формируемых оптико-электронной системой изображений необходимо построить частотный фильтр, комплексная частотная характеристика (корректирующая функция) которого должна быть рассчитана с использованием сведений о функции передачи модуляции оптико-электронной системы и соответствующей ее функции зрительного анализатора.

Содержание методики предполагает выполнение следующих действий:

- вычисление отношения значений функции передачи модуляции глаза к функции системы;
- формирование двумерной амплитудно-частотной характеристики исправляющего фильтра;

– вычисление значений пикселей исправленного изображения с использованием математического аппарата прямого и обратного преобразований Фурье.

Применение методики к изображениям оптико-электронных систем с неубывающим характером функции передачи модуляции обеспечивает близость пространственно-частотных характеристик системы и глаза при незначительном ухудшении разрешающей способности (не более 5 %).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 18-08-00486а, № 16-08-00311а.

Библиографический список

1. Гайденов А. В., Веселов Ю. Г., Островский А. С., Сельвесюк Н. И. Непараметрический подход к оценке оптико-электронных систем // Юбилейная Всерос. науч.-техн. конф. «Авиационные системы в XXI веке»: сб. докл. М.: ГосНИИАС, 2016. С. 13 – 18.
2. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. Инфракрасные системы смотрящего типа. М.: Логос, 2004. 444 с.

References

1. Gaidenkov A. V., Veselov Yu. G., Ostrovsky A. S., Selvesyuk N. I. Nonparametric approach to the evaluation of optoelectronic systems // Jubilee All-Russian Scientific and Technical Conference «Aviation Systems in the 21st Century»: Collection of reports. M.: GosNIIAS, 2016. P. 13 – 18.
2. Tarasov V. V., Yakushenkov Yu. G. Infrared systems of the looking type. M.: Logos, 2004. 444 p.

УДК 582.87

Н. И. Сельвесюк, д-р техн. наук, проф. РАН, зам. ген. дир. (ФГУП «ГосНИИАС», Москва, Россия);
Ю. Г. Веселов, д-р техн. наук, доц., проф. каф., **А. С. Островский**, канд. техн. наук, доц. каф.,
 e-mail: aleksandr_ostrovsky@mail.ru (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н. Э. Баумана», Москва, Россия)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Аннотация. Предложена методика оценки точностных характеристик определения координат объектов на изображениях, позволяющая определить значение среднеквадратического отклонения местоопределения в зависимости от значений элементов внешнего и внутреннего ориентирования изображения, а также их среднеквадратических отклонений.

Ключевые слова: оптико-электронная система, точность определение координат, элементы внутреннего и внешнего ориентирования изображения.

N. I. Selvesyuk (FSUE «GosNIIAS», Moscow, Russia);
Yu. G. Veselov, A. S. Ostrovsky (BMSTU, Moscow, Russia)

TO THE QUESTION OF IMAGE PROCESSING ON THE PRINCIPLES OF ITS VISUAL PERCEPTION

Abstract. In this paper the technique of an estimation of positioning characteristics of definition of coordinates of objects on the image is offered, allowing to define value of standard deviation of a position determination depending on values of elements of external and internal orientation of the image, and also their standard deviations.

Index terms: optoelectronic system, accuracy of the definition of coordinates, elements of internal and external orientation of the image.

При решении различных классов задач, связанных с применением оптико-электронных систем и направленных на получение информации (ПВИ) о сцене съемки, возникает необходимость определения координат обнаруженных (распознаваемых) объектов по этим изображениям. При этом к процессу определения координат выдвигаются жесткие точностные требования, определяемые потребностью практики и не всегда учитывающие технические возможности систем, вспомогательных датчиков, а также точностей определения прочих параметров, необходимых для выполнения расчетов.

Таким образом, возникает необходимость разработки методики оценки точностных характеристик определения координат объектов на изображениях, позволяющей оценить возможность местоопределения объектов с заданной точностью.

В настоящее время задачи определения координат объектов по изображениям оптико-электронных систем решаются фотограмметрическими методами [1] с использованием «прямых» фотограмметрических уравнений.

Адаптация указанных уравнений для цифровых систем имеет вид

$$\begin{cases} X_{ij} = X_S - H_S \frac{C_{11}\left(i - \frac{M}{2}\right) + C_{12}\left(j - \frac{N}{2}\right) - C_{13} \frac{f}{a}}{C_{31}\left(i - \frac{M}{2}\right) + C_{32}\left(j - \frac{N}{2}\right) - C_{33} \frac{f}{a}}, \\ Y_{ij} = Y_S - H_S \frac{C_{21}\left(i - \frac{M}{2}\right) + C_{22}\left(j - \frac{N}{2}\right) - C_{23} \frac{f}{a}}{C_{31}\left(i - \frac{M}{2}\right) + C_{32}\left(j - \frac{N}{2}\right) - C_{33} \frac{f}{a}}, \end{cases} \quad (1)$$

где i, j – координаты пиксела на изображении (номера строки и столбца изображения соответственно), для которых выполняется расчет, ед.; M, N – количество элементов приемника излучения по строкам и столбцам соответственно, ед.; X_{ij}, Y_{ij} – координаты пиксела на местности в системе координат Гаусса–Крюгера (СКГК), м; X_S, Y_S – координаты носителя в СКГК, м; H_S – высота носителя, м; a – размер элемента приемника излучения системы ПВИ, м; f – фокусное расстояние объектива системы ПВИ, м; $C_{m,n}$ – элемент матрицы направляющих косинусов, рассчитываемой с помощью выражения

$$C = \begin{pmatrix} \cos \psi \cos \vartheta & \sin \psi \cos \gamma - \cos \psi \sin \vartheta \sin \gamma & -\sin \psi \sin \gamma - \cos \psi \sin \vartheta \cos \gamma \\ -\sin \psi \cos \vartheta & \cos \psi \cos \gamma + \sin \psi \sin \vartheta \sin \gamma & \sin \psi \sin \vartheta \cos \gamma - \cos \psi \sin \gamma \\ \sin \vartheta & \cos \vartheta \sin \gamma & \cos \vartheta \cos \gamma \end{pmatrix},$$

где ψ – курс носителя (угол рыскания, пеленг, азимут и пр.), рад (0 соответствует направлению на север, увеличение против часовой стрелки); ϑ – тангаж носителя (угол места и пр.), рад (0 соответствует съемке в надир, увеличение по ходу перемещения носителя); γ – кренносителя (угол поворота матрицы и пр.), рад (0 соответствует съемке в надир, увеличение слева направо).

При этом такие элементы ориентирования изображения, как $X_S, Y_S, H_S, \psi, \vartheta, \gamma$, известны с ошибками $\Delta X_S, \Delta Y_S, \Delta H_S, \Delta \psi, \Delta \vartheta, \Delta \gamma$, математические ожидания которых, как правило, равны нулю, а среднеквадратические ошибки их определения $\sigma_{X_S}, \sigma_{Y_S}, \sigma_{H_S}, \sigma_{\psi}, \sigma_{\vartheta}, \sigma_{\gamma}$ известны или могут быть рассчитаны.

Сделав допущение, что среднеквадратические ошибки определения элементов ориентирования изображения некоррелированы, при наличии указанных исходных данных может быть применена предложенная методика, предполагающая выполнение следующих вычислений:

$$\sigma_{ij} = \sqrt{\sigma_{X_{ij}}^2 + \sigma_{Y_{ij}}^2};$$

$$\sigma_{X_{ij}}^2 = \sigma_{X_S}^2 + \left(\frac{\partial X_{ij}}{\partial H_S} \sigma_{H_S} \right)^2 + \left(\frac{\partial X_{ij}}{\partial \psi} \sigma_{\psi} \right)^2 + \left(\frac{\partial X_{ij}}{\partial \vartheta} \sigma_{\vartheta} \right)^2 + \left(\frac{\partial X_{ij}}{\partial \gamma} \sigma_{\gamma} \right)^2;$$

$$\sigma_{Y_{ij}}^2 = \sigma_{Y_S}^2 + \left(\frac{\partial Y_{ij}}{\partial H_S} \sigma_{H_S} \right)^2 + \left(\frac{\partial Y_{ij}}{\partial \psi} \sigma_{\psi} \right)^2 + \left(\frac{\partial Y_{ij}}{\partial \vartheta} \sigma_{\vartheta} \right)^2 + \left(\frac{\partial Y_{ij}}{\partial \gamma} \sigma_{\gamma} \right)^2,$$

где σ_{ij} – искомая среднеквадратическая ошибка определения координат; $\sigma_{X_{ij}}^2, \sigma_{Y_{ij}}^2$ – дисперсии определения координат X_{ij}, Y_{ij} соответственно.

Таким образом, оценка точности определения координат объекта на изображении происходит посредством линеаризации нелинейных фотограмметрических уравнений (1).

Предложенная методика оценки точностных характеристик определения координат объектов на изображении может быть использована для оценки возможности местоопределения объектов с заданной точностью в зависимости от характеристик оптико-электронных систем и точностей определения элементов ориентирования изображения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 18-08-00486а, № 16-08-00311а.

Библиографический список

1. Коваленко В. П. Оптико-электронное разведывательное оборудование летательных аппаратов. М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1990. С. 194 – 243.

References

1. Kovalenko V. P. Optoelectronic reconnaissance equipment of aircraft. M.: Zhukovsky VVIA, 1990. P. 194 – 243.

М. В. Веревкин, В. В. Егоров,
науч. рук. – ст. преп. А. Н. Пронькин (ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», Москва, Россия, e-mail: promvv@gmail.com)

СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ РАЗРАБОТЧИКОВ НАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛИЗАЦИИ

Аннотация. Рассмотрены возможности создания и модернизации комплексной компьютерной инфраструктуры, которая используется инженерным подразделением, осуществляющим научную работу, которая необходима для подготовки специалистов, в рамках читаемых дисциплин на кафедре № 305 МАИ. Описаны основные этапы и аппаратно-программные решения, позволяющие повысить уровень информационного обеспечения при наличии материально-технических ограничений.

Ключевые слова: компьютерная система, виртуализация.

M. V. Verevkin. V. V. Egorov (Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

CREATION OF A COMPUTER INFRASTRUCTURE FOR DEVELOPERS OF NAVIGATION SYSTEMS USING VIRTUALIZATION TECHNOLOGY

Abstract. The paper considers the possibilities of creating and upgrading the complex computer infrastructure. The main stages and hardware-software solutions are described that allow to increase the level of information support in the presence of material and technical constraints.

Index terms: computer system, virtualization.

При проектировании компьютерной системы, предназначенной для использования инженерным структурным подразделением и преподавательским составом института, следует учитывать следующие особенности: необходимое количество и предполагаемую стоимость вычислительных ресурсов, удобство доступа к хранимым данным, безопасность системы, простоту администрирования и надежность.

Одной из важнейших задач при проектировании подобных комплексов является нахождение оптимального по соотношению цена-качество варианта модернизации с учетом вышеобозначенных параметров.

В ходе работы проведен аналитический обзор компьютерных систем, предназначенных для коллективного использования, рассмотрены децентрализованная система, централизованная система с использованием многопользовательских операционных систем и централизованная система с использованием технологий виртуализации.

Анализу подлежат такие параметры, как удобство и возможность одновременного исполь-

зования группой инженеров, преподавательским составом, а также выделены плюсы и минусы каждого метода.

По результатам работы разработана концепция компьютерной инфраструктуры, определен подход к модернизации, при котором устаревшие персональные компьютеры будут использоваться как терминалы для сервера виртуальных машин.

Предварительный анализ полученной компьютерной инфраструктуры показал гибкость и легкость ее администрирования, а также масштабируемость и удобство использования инженерным и педагогическим составом.

Библиографический список

1. Куроуз Джеймс, Росс Кит. Компьютерные сети: Нисходящий подход. 6-е изд. М.: Изд-во «Э», 2016. 912 с.

References

1. Kuroos James, Ross Keith. Computer networks: Top-down approach. 6th ed. M.: Publishing House «E», 2016. 912 p.

УДК 681.515

Д. Е. Михеева, В. А. Ломов, О. В. Соколова (ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия, e-mail: atpgu@yandex.ru)

ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА В КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

Аннотация. Целью работы является повышение эффективности процесса горения топлива в котле на основе экстремального управления, синтезированная экстремальная система управления горением позволяет снизить расход топлива в котельной установке.

Ключевые слова: инерционный объект, экстремальное управление, котел, горение топлива.

D. E. Mikheeva, V. A. Lomov, O. V. Sokolova (Penza State University, Penza, Russia)

EXTREMUM SEEKING REGULATION OF THE FUEL FUELING PROCESS IN BOILER PLANT

Abstract. The purpose of the work is to increase the efficiency of the combustion process in the boiler based on extreme control, the synthesized extreme combustion management system allows to reduce fuel consumption in the boiler plant.

Index terms: inertial object, seeking extremum control, boiler, burning of fuel.

По уровню автоматизации теплоэнергетика занимает одно из ведущих мест среди других отраслей промышленности. Данная отрасль отличается высокими требованиями к точности регулирования при работе в высоких параметрах рабочей среды и наличием источника энергии. В теплоэнергетике постоянно находят приложения методы современной и классической теории и новые технические средства автоматического управления.

Потери энергетического топлива в значительной мере зависят от совершенства его сжигания. Наряду с конструкцией топочного устройства и режимом работы котла, эффективность процесса горения зависит от качества работы системы автоматического регулирования и подачи топлива и воздуха в топку парового котла [1].

Предлагаемая в данной работе система управления горением топлива относится к оптимизации процессов горения в тепловых установках и может использоваться при разработке систем контроля горения в топках промышленных котлов. Применение системы направлено на разработку энергоэффективных методов сжигания топлива и снижение загрязнений атмосферы вредными продуктами путем повышения точности ведения процесса горения топлива, который на практике носит экстремальный характер.

Исследован процесс горения в топке энергетического котлоагрегата марки ДЕ–16–14ГМ.

Проведен анализ эффективности работы котельной установки, в результате которого выявлено, что изменение расхода топлива от расхода воздуха носит экстремальный характер. Для обеспечения наиболее эффективного процесса горения параметры топлива и воздуха должны соответствовать точке экстремума.

Для поддержания оптимального процесса горения в котельной установке предлагается применить алгоритм поиска экстремума статической характеристики инерционного объекта [2]. Для обеспечения устойчивости системы предлагается использовать рекуррентный алгоритм метода наименьших квадратов. Этапы экстремального регулирования:

- 1) считывание входного и выходного сигналов с экстремального объекта;
- 2) вычисление коэффициентов АРСС-модели по рекуррентному методу наименьших квадратов;
- 3) вычисление коэффициента передачи объекта;
- 4) поиск управляющего воздействия, обеспечивающего нулевое значение коэффициента передачи с использованием прямых методов поиска нуля функций.

Для оценки эффективности предложенного алгоритма была разработана математическая модель процесса горения с экстремальным регуля-

тором в приложении Simulink, включающая инерционный объект второго порядка с экстремальной характеристикой и экстремальным регулятором, в котором реализуется алгоритм рекуррентного вычисления коэффициента передачи и поиска нуля этого коэффициента k [2]. В результате проведенных исследований экспериментально установлено, что изменение расхода топлива от расхода воздуха носит экстремальный характер, и для обеспечения наиболее эффективного процесса горения параметры топлива и воздуха должны соответствовать точке экстремума (минимума расхода топлива).

Так же по результатам моделирования видно, время поиска экстремума соизмеримо с инерционностью объекта, фазовая траектория располагается в окрестности точки, в которой целевая функция достигает экстремума (максимума). Несмотря на высокий уровень помех, отклонение системы от точки экстремума не превышает 10 %, что подтверждает эффективность

предлагаемого алгоритма поиска экстремума, что позволяет снизить расход топлива на 23 %.

Библиографический список

1. Плетнев Г. П. Автоматизированные системы управления объектами тепловых электростанций. М.: Изд-во МЭИ, 1995. 353 с.
2. Семенов А. Д., Авдеева О. В., Никиткин А. С. Алгоритм экстремального регулирования на основе рекуррентной процедуры метода наименьших квадратов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2012. № 1. С. 3 – 11.

References

1. Pletnev G. P. Automated control system for thermal power plants. M.: ed. MPEI, 1995. 353 p.
2. Semenov A. D., Avdeeva O. V., Nikitkin A. S. The algorithm of extreme regulation based on the recursive procedure of the method of least squares // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. The Volga region. Technical science. 2012. № 1. P. 3 – 11.

УДК 681.586.2

И. А. Ключина, К. И. Дулкина, Р. Н. Исянов (ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия, e-mail: atpgu@yandex.ru)

ПОВЫШЕНИЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СИГНАЛОВ С ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Аннотация. В работе синтезирована программа, реализующая метод кусочно-полиномиальной интерполяции и строящая график функции с использованием данного метода по заданным исходным данным.

Ключевые слова: датчик давления, датчик температуры, визуализация, сигнал.

I. A. Klyuzhina, K. I. Dulkina, R. N. Isyanov (Penza State University, Penza, Russia)

INCREASING THE IMAGING SIGNALS FROM THE PRESSURE AND TEMPERATURE SENSORS

Abstract. A program is synthesized that implements the method of piecewise polynomial interpolation and constructs a function graph using this method based on the given initial data.

Index terms: pressure sensor, temperature sensor, visualization, signal.

Датчик является функционально законченным элементом, но для получения значений измерения его необходимо подключить к управляющему элементу, например, микроконтроллеру. Микроконтроллер посредством выполнения

управляющей программы будет периодически снимать показания датчика, дешифровать их для получения результата, при необходимости сохранять в оперативной памяти. В итоге будет получен массив значений, используя который,

можно проследить динамику изменения измеренного параметра, например, отобразив его графически.

Если полученный массив значений вывести в координатную сетку в зависимости от времени получения данных или же от последовательности их получения и соединить полученные точки линиями, то получится график динамики заданного показателя.

Точность данного графика будет зависеть от интервала получения показаний датчика – чем меньше интервал, тем точнее будет график.

В реальной жизни при проектировании вычислительной техники процесс непрерывного опроса датчиков не реализуется. Это обуславливается нерациональным использованием ресурсов управляющего элемента. Для повышения точности показаний датчиков используются программные средства, которые реализуют методы нахождения недостающих точек графика, тем самым сглаживая его контур.

Зачастую, в научно-технической и справочной литературе часть функциональных зависимостей дается не в виде формул, а графиками. Причем вид функциональных зависимостей, которые были использованы для построения, не указывается. Также отсутствуют и таблицы, используемые для построения графиков. Графики приводятся не только для качественного описания тех или иных явлений, но и для их количественной оценки – для расчетов [2].

Для современных расчетов с использованием различных вычислительных средств требуются не графики и номограммы, а формулы и числовые данные, которые, как было сказано ранее, зачастую не приводятся в технической литературе. Таким образом, проводить расчеты, основывающиеся на представленных номограммами зависимостях, возможно только с исполь-

зованием человека: он должен вручную получать необходимые для дальнейших вычислений значения.

Нельзя не отметить тот факт, что преобразование номограмм к функциональной форме обеспечит использование полученных ранее данных в последующих расчетах с использованием различных вычислительных средств.

Можно заключить, что существует необходимость в разработке метода обработки числовых данных, полученных в результате предварительной «оцифровки» имеющегося изображения с графической зависимостью. В итоге, такой подход сведет к минимуму участие человека в работе с последующими расчетами: от него требуется лишь извлечь наборы точек из графического изображения интересующей его зависимости. В результате, разработанный метод позволит построить хороший фундамент для решения прикладных задач, опирающихся на рассматриваемую зависимость. Причем, применение методов интерполяции позволит рассчитывать значения исследуемой функции во всей области ее определения.

Библиографический список

1. **К. Де Бор.** Практическое руководство по сплайнам. М.: Изд-во «Радио и связь», 1985. 304 с.
2. **Романов В. В.** Сплайновая интерполяция в задачах динамического исследования машинного агрегата. Казань: КГТУ, 2010.

References

1. **C. De Bohr.** Practical guide to splines. M.: Publishing House «Radio and Communication», 1985. 304 p.
2. **Romanov V. V.** Spline interpolation in problems of dynamic investigation of a machine unit. Kazan': KGTU, 2010.

УДК 658.310.823.5-051.177

А. Е. Зверев, А. В. Куликова, М. М. Полотнов (ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия, e-mail: valakardin@mail.ru)

РАЗРАБОТКА ЕДИНОЙ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА ОТЧЕТНОСТИ В ЦЕЛЯХ ФИНАНСОВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДВЕДОМСТВЕННЫХ МИНОБРНАУКИ УЧРЕЖДЕНИЙ

Аннотация. Задача исследования и разработки – повышение эффективности и оперативности сбора и обработки плановой и отчетной информации, реализация адаптивности системы к решению новых задач мониторинга посредством перехода к единой комплексной программной платформе сбора и обработки отчетности.

Ключевые слова: информационные системы, сбор данных, централизованные хранилища.

A. E. Zverev, A. V. Kulikova, M. M. Polotnov (National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

DEVELOPMENT OF A UNIFIED CENTRALIZED INFORMATION SYSTEM FOR COLLECTING REPORTS FOR THE PURPOSE OF FINANCIAL PLANNING AND OPERATIONAL MONITORING OF THE ACTIVITIES OF SUBORDINATE INSTITUTIONS OF THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE

Abstract. The purpose of research and development is to improve the efficiency of collection and processing of planned and reporting information, the implementation of the system's adaptability to the solution of new monitoring tasks by means of transition to a single integrated software platform for collection and processing of accounting data.

Index terms: information systems, data collection, centralized storage.

В условиях сформированного единого информационного пространства – специализированного интернет-портала информационного взаимодействия (СИП ИВ) структурных подразделений Департамента финансов министерства с учреждениями, подведомственными Минобрнауки России [1], актуальной задачей явилась задача разработки единой централизованной информационной системы сбора данных, интегрируемой в концепцию СИП ИВ, унифицирующей технологии сбора и обработки отчетности.

Основными направлениями и задачами модернизации явились: унификация технологической платформы, форматов хранения данных и средств их обработки; организация данных, обеспечивающая независимость модели хранения данных от состава и структуры показателей в рамках отдельных предметных задач; обеспечение единообразного интерфейса и единого принципа работы с данными, ориентированного

на полное применение web-интерфейсов; обеспечение единой точки входа для всех предметных задач и периодов.

Модернизированная архитектура системы состоит из двух уровней: уровня портала и уровня пользователя. Двухуровневая система позволяет сконцентрировать все функции внутри портала, минимизировать потоки данных. В зависимости от уровня пользователя доступен различный функционал. Клиентские приложения реализованы как «тонкие» клиенты, отображаемые в браузере, установленном на компьютере пользователей. Логика узла сбора при этом сосредоточена на сервере, а функция браузера заключается в отображении информации, загруженной по сети с сервера, и передаче обратно данных пользователя. Предоставляемые сервисы, таким образом, являются межплатформенными. Разработанная информационная среда строится по модульному принципу.

Библиографический список

1. Зверев А. Е., Куликова А. В., Мочалова Л. А., Полотнов М. М. Реализация единого информационного пространства выполнения задач сбора и обработки данных для задач бюджетного планирования подведомственных Минобрнауки России организаций // Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации: тр. XXV Междунар. науч.-техн. конф., (14 – 20 сентября 2016 г., Алушта). М.: Технология, 2016. С. 29–30.

References

1. Zverev A. E., Kulikova A. V., Mochalova L. A., Polotnov M. M. Implementation of the unified information space to perform the tasks of collecting and processing data for planning financial provision of state jobs and subsidies for other purposes of the institutions subordinated to the Ministry of Education of Russia // Transactions of the XXV International Scientific and Technical Conference «Modern technologies in control, automation and information processing problems», (14 – 20 September 2016, Alushta). M.: Tekhnologiya, 2016. P. 29–30.

УДК 519.237.5

Д. А. Цветков, В. В. Климов (Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия, e-mail: postgrad2020@mail.ru)

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГНОЗОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ В ФИНАНСОВОЙ СФЕРЕ

Аннотация. В работе проводится сравнительный анализ методов простого скользящего среднего, экспоненциального сглаживания, моделей АРИМА (ARIMA) при построении прогнозов в финансовой сфере с использованием программного комплекса.

Ключевые слова: прогнозирование, временные ряды, математическая статистика, простое скользящее среднее, экспоненциальное сглаживание, модели АРИМА (ARIMA).

D. A. Tsvetkov, V. V. Klimov (National Research Nuclear University MEPhI «Moscow Engineering Physics Institute», Moscow, Russia)

METHODS FOR MAKING PREDICTIONS BASED ON THE ANALYSIS OF TIME SERIES IN THE FINANCIAL SPHERE

Abstract. In the paper, a comparative analysis of the methods such as: simple moving average, exponential smoothing, ARIMA models is performed in the construction of financial predictions using a software package.

Index terms: making predictions, time series, mathematical statistics, simple moving average, exponential smoothing, the ARIMA models.

Сегодня технологический прогресс все больше внедряется в различные области деятельности человека. Не так давно появившиеся методы обработки информации, такие как инженерия данных, и обработка больших данных, уже показали свою эффективность и незаменимость в инновационном развитии предприятий. Для получения конкурентного преимущества на рынке и выстраивания оптимальной стратегии и своей бизнес-политики предприятию необходимо обладать достоверными прогнозами в той или иной экономической области. Для решения этой проблемы хорошо подходят методы обработки информации, основанные на математической статистике.

Проблематикой научного исследования является построение прогноза потребностей регионов РФ в наличной денежной массе. Прогноз строится на основе имеющихся в открытом доступе данных о колебаниях спроса на наличные денежные средства регионов РФ. Рассмотрены три метода построения прогнозов на основе анализа временных рядов: простое скользящее среднее; экспоненциальное сглаживание; модели АРИМА (ARIMA).

Для эффективного проведения сравнительного анализа был разработан программный комплекс на языке Python 2.7 с использованием библиотеки scikit-learn. На вход программы подаются

ся данные о колебаниях спроса за 24 месяца, представленные в виде временного ряда. Входной ряд анализируется и происходит построение прогноза на следующие 12 месяцев. Для проверки работы модели прогноз строится на уже имеющиеся 12 месяцев. Следовательно, для проведения анализа необходимо располагать данными, как минимум, за 36 месяцев.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что модели ARIMA очень неплохо справились с поставленной задачей прогнозирования, и в некоторых случаях продемонстрировали достойный результат. Впрочем, результат был не всегда приемлемый, это можно объяснить недостаточным количеством подаваемых на вход данных. Если увеличить подаваемый временной ряд до сорока – пятидесяти точек, то обучаемость модели повысится и, как следствие, улучшатся результаты прогнозирования.

В некоторых случаях, когда модели ARIMA предсказывали недостаточно хорошо, метод экспоненциального сглаживания показывал более близкие к истинным результаты прогнозирования. Для построения прогнозов этому методу необходимо меньшее количество точек временного ряда. В случае достаточного объема входных данных, модели ARIMA показывают более правдоподобные результаты. Метод простого скользящего среднего зарекомендовал себя не так хорошо, как предыдущие два. Его хорошо использовать для предварительного анализа временного ряда или в качестве предобработки ряда для сглаживания.

В заключение следует отметить большой потенциал моделей ARIMA для составления прогнозов в рассматриваемой финансовой области. Тем не менее полный потенциал раскрывается только при наличии достаточно большого объема данных (наблюдений). В качестве альтернативы можно рассмотреть метод экспоненциального сглаживания.

Библиографический список

1. **Афанасьев В. Н., Юзбашев М. М.** Анализ временных рядов и прогнозирование. М.: Финансы и статистика, 2001. 231 с.
2. **Андерсон О. Д.** Анализ временных рядов и прогнозирование. Лондон: But Terworths, 1996. 254 p.
3. **Абрахам Б., Ледолтер Дж.** Статистические методы для прогнозирования. Нью-Йорк: Wiley, 2003. 421 p.
4. **Официальный сайт** Центрального Банка РФ [Электронный ресурс]. 2018. URL: <http://www.cbr.ru/statistics/?PrtId=ms&pid=dkfs>

References

1. **Afanasyev V. N., Yuzbashev M. M.** Time series analysis and forecasting. M.: Finance and statistics, 2001. 231 p.
2. **Anderson O. D.** Time series analysis and forecasting. London: But Terworths, 1996. 254 p.
3. **Abraham B., Ledolter J.** Statistical methods for forecasting. New York: Wiley, 2003. 421 p.
4. **Official website of the Central Bank of Russia** [Electronic resource]. 2018. URL: <http://www.cbr.ru/statistics/?PrtId=ms&pid=dkfs>

С. С. С. Аль-Бусаиди, аспирант, С. В. Пономарев, д-р техн. наук, проф.
(ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов,
Россия, e-mail: kafedra@uks.tstu.ru)

ПРИМЕНЕНИЕ ОЦЕНОК ПОКАЗАТЕЛЯ «ПРИОРИТЕТНОЕ ЧИСЛО ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ» ПРИ УЛУЧШЕНИИ ПРОЦЕССА ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ СЫРЬЯ «УАЙТ-СПИРИТ» В ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Аннотация. Рассмотрен пример подготовки и принятия управленческого решения в целях улучшения процесса входного контроля в испытательной лаборатории с использованием методов информационных технологий и нечетких чисел.

Ключевые слова: процесс, улучшение, вероятность реализации, значимость последствий, доступность контроля и управления.

S. S. S. Al-Busaidi, S. V. Ponomarev (Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

APPLICATION OF ESTIMATES OF THE INDICATOR «PRIORITY NUMBER OF OPPORTUNITIES FOR IMPROVEMENT» WHEN IMPROVING THE PROCESS OF INPUT INSPECTION OF RAW MATERIAL «WHITE SPIRIT» IN THE TESTING LABORATORY

Abstract. An example of preparation and management decision-making to improve the process of input inspection in the testing laboratory using information technology methods and fuzzy numbers is considered.

Indexterms: process, improvement, the likelihood of the realization, the importance of the consequences, the availability of inspection and control.

В статье [1] было предложено по аналогии с понятием «риск» ввести в рассмотрение показатель «Индикатор возможности улучшения» (ИВУ). При этом в [1] рассмотрены три подхода к практическому осуществлению оценки показателя ИВУ. Для третьего подхода было предложено название «Анализ последствий режима возможного улучшения» или IOMEA-методология, от английских слов «Improvement Opportunity Mode Effect Analysis». Согласно этому подходу в качестве показателя ИВУ используется так называемое «Приоритетное число возможности улучшения» (ПЧВУ).

Третий подход расчета показателя ПЧВУ [1, 2] был применен к бизнес-процессу входного контроля поступающего сырья уайт-спирит на АО «ЗПС», включающего в себя следующие наиболее перспективные для улучшения этапы: 1) организация отбора проб для анализа и испытаний; 2) проведение анализа; 3) выдача поступившего сырья в производство.

Проанализировав сеть процесса входного контроля сырья уайт-спирит, была сформирована приведенная в [2] IOMEA-таблица, в которой представлены результаты анализа возможностей улучшений.

Для рассматриваемых этапов процесса входного контроля членами IOMEA-команды были определены вербальные оценки показателей [1, 2]:

ВР – балл вероятности реализации потенциального улучшения;

ЗП – балл значимости положительных последствий улучшения;

ДКУ – балл доступности контроля и управления процессами после внедрения возможного улучшения.

Затем, с использованием квалитетических шкал [1] для этих показателей-концептов ВР, ЗП и ДКУ, были определены усредненные значения этих показателей $\overline{ВР}$, $\overline{ЗП}$ и $\overline{ДКУ}$, приведенные в табл. 1 [2]. По оценкам $\overline{ВР}$, $\overline{ЗП}$ и $\overline{ДКУ}$, были

рассчитаны значения показателя $\overline{\text{ПЧВУ}}$ по формуле $\overline{\text{ПЧВУ}} = \overline{\text{ВР}} \cdot \overline{\text{ЗП}} \cdot \overline{\text{ДКУ}}$, представленные

в табл. 1. Одновременно были рассчитаны значения параметров функций принадлежности

$$\mu_{\text{вр}}(x, a_{1\text{вр}}, a_{2\text{вр}}, a_{3\text{вр}}), \mu_{\text{зп}}(x, a_{1\text{зп}}, a_{2\text{зп}}, a_{3\text{зп}}),$$

$$\mu_{\text{дку}}(x, a_{1\text{дку}}, a_{2\text{дку}}, a_{3\text{дку}}),$$

$$\mu_{\text{пчву}}(x, a_{1\text{пчву}}, a_{2\text{пчву}}, a_{3\text{пчву}}).$$

В таблице 2 приведен пример результатов таких расчетов для этапа «Проведение анализа» процесса входного контроля сырья уайт-спирит.

1. Результаты работы ЮМЕА-команды [2]

Дата: 20.11.2017 г.	Кафедра: МиТИ. Изучаемый процесс: процесс входного контроля поступающего сырья – уайт-спирит на заводе АО «ЗПС»		Руководитель: д-р техн. наук, проф. С. В. Пономарев. Члены ЮМЕА-команды: инженер-лаборант химического анализа Т. И. Шакирова, аспирант С. С. С. Аль-Бусаиди, инженер входного контроля М. А. Погуляева, инженер-технолог А. В. Милованов						
Этапы процесса	Содержание потенциального улучшения	Предпосылки потенциального улучшения	Потенциальные последствия предполагаемого улучшения	$\overline{\text{ЗП}}$	$\overline{\text{ВР}}$	$\overline{\text{ДКУ}}$	$\overline{\text{ПЧВУ}}$	Средства достижения улучшения	Ответственные
Организация отбора проб для анализа и испытаний	Пересмотр методики отбора проб, соответствующей ГОСТ 2517–2012	1. Долгое и тщательное перемешивание содержимого бочки. 2. Перед отбором проб протирать верхнюю крышку бочки в целях избежания попадания механических примесей в пробу	Более точные результаты испытаний	7	10	9	630	Внесение изменений в существующую методику отбора проб	Инженер-лаборант химического анализа, инженер по качеству входного контроля
Проведение анализа	Добавить новый показатель качества – процентное содержание серы в уайт-спирите в «Перечень сырья и материалов, подлежащих входному контролю»	Разработать методику измерения процентного содержания серы в уайт-спирите	Исключить попадание в производство уайт-спирита с завышенным процентным содержанием серы, что позволит снизить износ оборудования и уменьшить процент брака	10	9	9	810	Внести дополнительный показатель качества в «Перечень сырья и материалов, подлежащих входному контролю»	Главный технолог, начальник ЦЗЛ, инженер-лаборант химического анализа, инженер по качеству входного контроля
Выдача поступившего сырья в производство	Отправлять поступившее сырье в производство с результатами испытания ЦЗЛ	Зная плотность уайт-спирита, можно рассчитать скорость подачи карбюризатора (уайт-спирита) в печь	Определение оптимального расхода уайт-спирита для повышения качества продукции и снижения затрат энергии	8	9	9	648	Прилагать результаты испытаний ЦЗЛ к каждой партии поступившего сырья	Инженер по качеству входного контроля

2. Параметры функций принадлежности нечетких чисел $\overline{ВР}$, $\overline{ЗП}$, $\overline{ДКУ}$, $\overline{ПЧВУ}$, рассчитанные для этапа «Проведение анализа»

$\overline{ВР}$	$a_{2вр} = 0,9$	$a_{1вр} = 0,8$	$a_{3вр} = 1,0$
$\overline{ЗП}$	$a_{2зп} = 1,0$	$a_{1зп} = 0,9$	$a_{3зп} = 1,1$
$\overline{ДКУ}$	$a_{2дку} = 0,9$	$a_{1дку} = 0,8$	$a_{3дку} = 1,0$
$\overline{ПЧВУ}$	$a_{2пчву} = 0,81$	$a_{1пчву} = 0,576$	$a_{3пчву} = 1,1$

На рисунке 1 проиллюстрированы результаты вычислений параметров функций принадлежности нечетких чисел $\overline{ВР}$, $\overline{ЗП}$, $\overline{ДКУ}$ и $\overline{ПЧВУ}$.

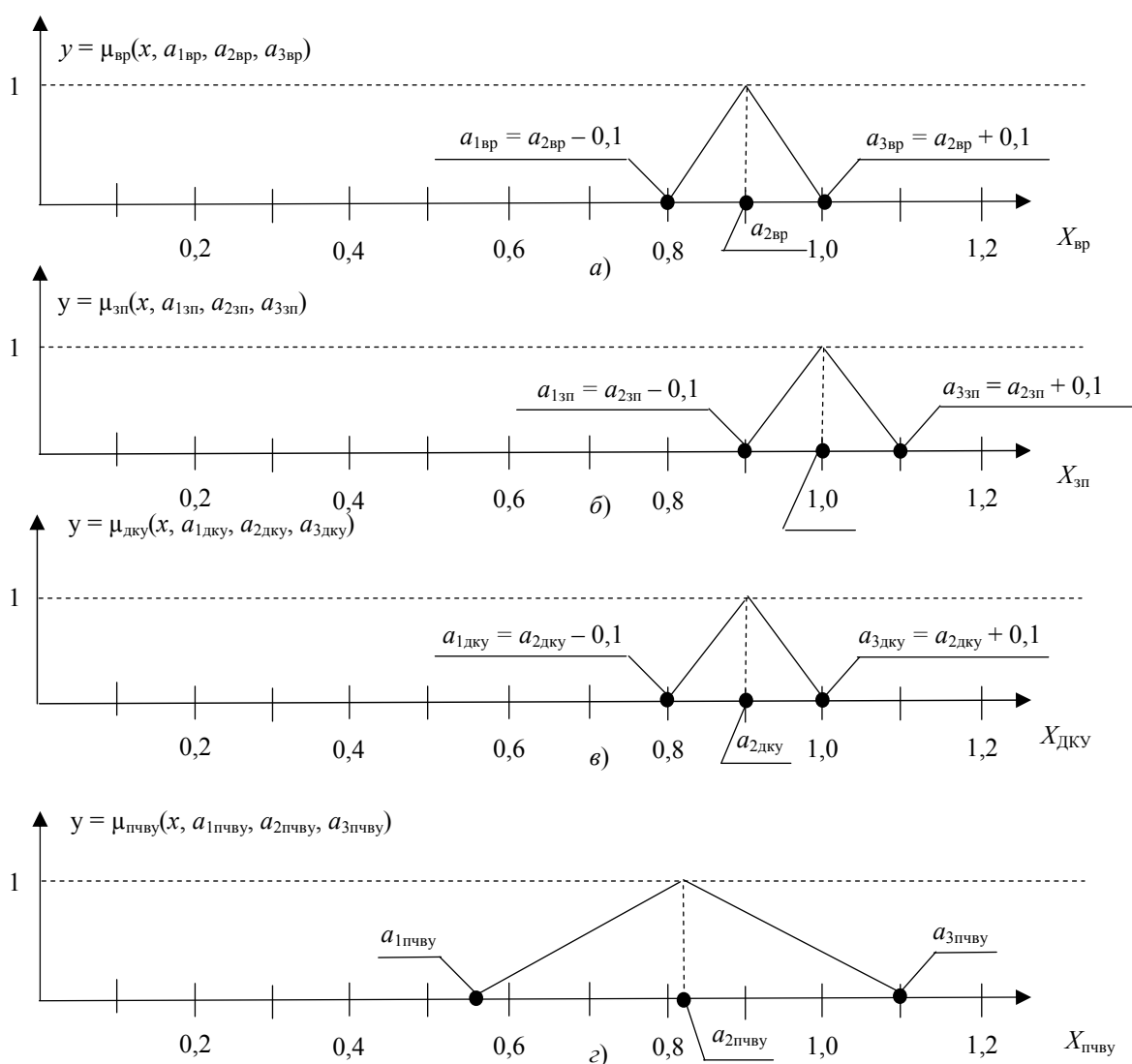


Рис. 1. Параметры функций принадлежности треугольных нечетких чисел, используемых для представления результатов формализации вербальных оценок экспертов в виде усредненных балльных оценок частных показателей-концептов:

a – для $\overline{ВР}$; $б$ – для $\overline{ЗП}$; $в$ – для $\overline{ДКУ}$; $г$ – для $\overline{ПЧВУ}$

По результатам работы члены ЮМЕА-команды пришли к выводу, что наиболее значимыми являются следующие предложения по улучшению:

– добавить новый показатель качества – процентное содержание серы в уайт-спирите, в «Перечень сырья и материалов, подлежащих входному контролю» ($\overline{\text{ПЧВУ}} = 810$);

– отправлять поступившее сырье в производство с результатами испытания ЦЗЛ ($\overline{\text{ПЧВУ}} = 648$), для чего потребуется приобрести новый прибор марки «Нефрас-С4-155/200».

Руководитель испытательной лаборатории ОАО «Завод подшипников скольжения» утвердил результаты работы ЮМЕА-команды и выделил финансовые средства на осуществление проекта улучшения процесса входного контроля сырья «Уайт-спирит». Итоги работы по осуществлению предложенного экспертами плана мероприятий подтвердили результативность и эффективность принятого менеджером управленческого решения об улучшении процесса входного контроля закупаемого сырья.

Библиографический список

1. Пономарев С. В., Аль-Бусаиди С. С. С. Применение балльных квалиметрических шкал для оценки индикатора возможности улучшения в СМК // Методы менеджмента качества. 2016. № 11. С. 14 – 18.

2. Аль-Бусаиди С. С. С., Шакирова Т. И., Пономарев С. В. Применение показателей исполнения деятельности при планировании и принятии управленческого решения об улучшении входного контроля сырья // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2018. № 2. С. 225 – 233.

References

1. Ponomarev S. V., Al-Busaidi S. S. S. Application of point qualimetric scales to assess the indicator of the possibility of improvement in the QMS // Quality Management Methods. 2016. № 11. P. 14 – 18.

2. Al-Busaidi S. S. S., Shakirova T. I., Ponomarev S. V. Application of performance indicators in the planning and management decision-making to improve the input control of raw materials // Vestnik TGTU. 2018. № 2. P. 25 – 33.

Секция 3

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ

УДК 681.518.3

А. И. Гуменник, e-mail: Alexander_095@mail.ru, М. А. Кононов
(ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва, Россия)

СИСТЕМА НИЖНЕГО УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Рассмотрены особенности разработки системы нижнего уровня автоматизации в производстве электроизоляционных материалов.

Ключевые слова: измерение температуры, изоляционные материалы, автоматизация.

A. I. Gumennik, M. A. Kononov (FSBEI HE «MIREA – Russian Technological University», Moscow, Russia)

LOW-LEVEL AUTOMATION SYSTEM IN THE PRODUCTION OF ELECTROINSULATED MATERIALS

Abstract. The report considers the development of a low-level automation system in the production of electroinsulated materials.

Index terms: temperature measurement, insulation materials, automation.

Электроизоляционные материалы (ЭИМ) – важная составляющая в производстве электрических машин, трансформаторов и других отраслях промышленности [1]. Производством ЭИМ занимаются специализированные предприятия. В их число входит завод «Электроизолит». Так как ЭИМ в процессе эксплуатации испытывают нагрузки, они должны обладать высокой надежностью [2]. На качество и надежность ЭИМ негативно влияет нестабильность некоторых свойств поставляемого сырья, которая должна быть скомпенсирована гибкостью и автоматизацией технологического процесса. Важнейшим контролируемым параметром является температура в баке реактора. На данном предприятии контроль осуществляется с применением одноточечного измерителя, чего явно недостаточно для объективной оценки протекающих процессов. Настоящая работа посвящена решению данной проблемы.

Разрабатываемое устройство является центральной частью многоточечной системы измерений температуры. Основное назначение устройства – работа в составе системы автоматического управления технологическим процессом варки ЭИМ. К задачам разрабатываемого устройства относятся: сбор информации, получаемой с датчиков температуры; предварительная обработка для передачи на верхний уровень системы

автоматизации. Основные компоненты разрабатываемого устройства: микропроцессорный блок управления; блок усиления и нормирования сигналов термодатчиков; многоканальный АЦП; блок интерфейса RS-485 (протокол Modbus RTU).

В ходе работы определены оптимальные зоны в баке для установки датчиков, выбран тип датчиков и их количество, рассмотрены особенности реализации разрабатываемого измерительного устройства, разработан блок сбора первичной информации о состоянии технологического процесса.

Библиографический список

1. Евтушенко Ю. М., Крушевский Г. А. Электроизоляционные материалы и системы изоляции для электрических машин. М.: Издательский дом МЭИ, 2012. 272 с.
2. Бобылев О. В., Кудрявцев А. В., Левин Б. И. Производство электроизоляционных материалов: учебник. М.: Высш. шк., 1986. 264 с.

References

1. Evtushenko U. M., Krushevskiy G. A. Elektroizolyacionnye materialy i sistemy izolyacii dlya elektricheskikh mashin. M.: Izdatel'skiy dom MEI, 2012. 272 p.
2. Bobylev O. V., Kudryavcev A. V., Levin B. I. Proizvodstvo elektroizolyacionnykh materialov: Ucheb. dlya prof. obucheniya rabochih na pr-ve. M.: Vyssh. shk., 1986. 264 p.

УДК 658.512.011.56:004.42

М. Х. Дорри (ФГБУН «Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН», Москва, Россия)

ОСОБЕННОСТИ НОВОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА РДС ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ СТЕНДОВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. Рассмотрены особенности одного из немногих отечественных программных комплексов (типа известных комплексов MATLAB, LabView), названного РДС (Расчет Динамических Систем), предназначенного для анализа и синтеза систем управления.

Ключевые слова: программное обеспечение, системы управления, анализ, синтез.

M. Kh. Dorri (Institute of Control Sciences Academician V. A. Trapeznikov Site, RAS, Moscow, Russia)

THE FEATURES OF SOFTWARE TOOL RDS THAT SIMPLIFY DEVELOPMENT OF RESEARCH DESKS OF CONTROL SYSTEMS

Abstract. Features one of the new Software Tools are considered (types of the known systems MATLAB, LabView), called RDS (Research of Dynamic Systems) intended for analysis and synthesis of control systems.

Index terms: software tool, control systems, analysis, synthesis.

В докладе рассмотрены особенности инструментального программного комплекса РДС [1, 2]. Он упрощает задачу разработки исследовательских стендов, которые используются при проектировании систем управления сложных многоцелевых объектов для имитационного моделирования, разработки алгоритмов управления, синтеза подсистем и исследования взаимодействия подсистем в динамике.

Программный комплекс РДС позволяет моделировать системы, представленные в виде набора связанных между собой блоков, каждый из которых может содержать программу расчета, определяющую взаимодействие с другими блоками системы и реакцию на действия пользователя. Группы функционально связанных блоков могут быть объединены в составные блоки (подсистемы), которые могут содержать собственную программу в дополнение к программам находящихся внутри подсистемы блоков. Кроме того, дополнительная программа расчета может быть при необходимости связана со всей системой. Все программы блоков загружаются из внешних библиотек, которые могут быть модифицированы независимо от главной программы.

Иерархическая структура моделируемых систем, примененная в РДС, позволяет строить алгоритмы расчета наиболее удобным для конкретной системы образом. Данные, непосред-

ственно относящиеся к блоку системы, могут обрабатываться программой расчета этого блока. Данные, общие для группы блоков, могут обрабатываться программой расчета подсистемы. Наконец, данные, относящиеся ко всей схеме в целом, могут обрабатываться программой системы.

При этом РДС позволяет достаточно легко организовать взаимодействие этих программ между собой. Такой подход позволяет решать достаточно обширный класс задач моделирования.

Для пользователя моделируемая система выглядит как структурная схема, в которой связи между блоками изображаются графически в виде линий. Внешний вид блоков может изменяться в процессе моделирования, что позволяет более наглядно информировать пользователя о результатах расчета и состоянии системы. Результаты расчета могут также выдаваться в виде чисел, графиков, индикаторов и т.п. Кроме того, пользователь может вмешиваться в работу системы непосредственно в процессе моделирования, изменяя параметры блоков и наблюдая результаты этих изменений.

Программный комплекс РДС хорошо приспособлен к созданию широкомасштабных компьютерных моделирующих стендов, обеспечивающих возможность наглядного представления поведения и состояния, сложных объектов в целом и их отдельных систем. Такие стенды в инструментальной среде РДС были построены для исследования

алгоритмов управления подводными лодками ОАО ЦКБ МТ «Рубин» и судном на подводных крыльях ОАО «ЦКБ по СПК им. Р. Е. Алексеева».

Основные достоинства РДС.

- возможность наглядного отображения процессов;
- создание блоков на синтаксисе языков высокого уровня;
- наличие видимых и невидимых слоев;
- удобные средства взаимодействия подсистем по шинам;
- групповое изменение характеристик блоков;
- возможность осуществления связи с реальным объектом;
- возможность встраивания алгоритмов анализа и синтеза систем.

При построении стендов с помощью комплекса РДС достигаются следующие цели:

- сокращение сроков и стоимости разработки алгоритмов управления, тренажеров и исследовательских стендов;

– обеспечение возможности построения и модификации стендов самими специалистами предметной области без участия высококвалифицированных программистов.

В докладе на примерах стенда для отображения процессов стабилизации морских подвижных объектов и стенда обеспечения информационной поддержки принятия решений в организационных системах иллюстрируются особенности программного комплекса РДС.

Библиографический список

1. Дорри М. Х., Рошин А. А. Программный комплекс для моделирования и исследования систем управления «Расчет динамических систем» (РДС): справочное руководство. Ч. 1. Устройство РДС и редактирование схем. URSS. 2018. 361 с.
2. Дорри М. Х., Рошин А. А. Программный комплекс для моделирования и исследования систем управления «Расчет динамических систем» (РДС): справочное руководство. Ч. 2. Разработка собственных автокомпилируемых схем. URSS. 2018. 480 с.

УДК 621.384.3

М. М. Садовский, М. Д. Кирсанов (ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия, e-mail: tguru@yandex.ru)

ИМИТАТОР ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА ДЛЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ТЕПЛОВИЗИОННОГО ПРИБОРА

Аннотация. Описан стенд для имитации тепловизионной картины движущейся мишени с целью оценки алгоритмов распознавания образов тепловизионным прибором. Приведены структурная и принципиальная схемы, рассмотрены принцип работы установки и математические формулы для расчета стенда.

Ключевые слова: имитатор, инфракрасное излучение, 3D-принтер, тепловая мишень.

М. М. Sadovskiy, M. D. Kirsanov (FSBEE HE «Tula State University», Tula, Russia)

MOBILE OBJECT SIMULATOR FOR AN OPTOELECTRONIC THERMAL IMAGING DEVICE

Abstract. The report describes a stand for simulating a thermal imaging picture of a moving target with the purpose of evaluating image recognition algorithms with a thermal imaging device. A structural diagram, a schematic diagram is given, the operating principle of the installation is described, mathematical formulas for calculating the stand are considered.

Index terms: imitator, infrared radiation, 3D-printer, thermal target.

В современных оптико-электронных в частности тепловизионных приборах широко используются системы автоматического распозна-

вания и слежения за целью. Для этого используются различные алгоритмы распознавания образов. Существует достаточно большое количество

алгоритмов распознавания образов, они приведены в работах [1, 2].

Актуальной задачей является оценка этих алгоритмов. Для этого необходимо создать одинаковые условия работы для оптико-электронного прибора. Такие условия можно создать с помощью имитатора тепловизионной картины. Исходными данными для такого имитатора могут служить: скорость движения объекта – 100 км/ч; расстояние до объекта – 500 м; фокусное расстояние тепловизионного прибора – 72 мм; траектория движения объекта задается ЭВМ; физический размер матрицы тепловизионного прибора – 24×36 мм; температурный контраст объекта, приведенный к объективу тепловизионного прибора, – 30...100 мК.

На основании этих исходных данных были проведены геометрические расчеты, в результате которых получены следующие характеристики имитатора: скорость движения тепловой мишени – 5,5 см/с; размер мишени типа автомобиль – 10 мм; размер имитатора – 500 мм; расстояние от имитатора до объектива – 1000 мм. Далее разработана структурная схема установки и ее трехмерная модель с помощью программы «КОМПАС-3D». Установка включает в себя следующие элементы:

- ЭВМ, предназначенная для задания траектории движения и температурных контрастов;
- блок микропроцессора, предназначенный для управления сервоприводами имитатора, а также стабилизаторами тока мишени и фона;
- три сервопривода, обеспечивающих движение по трем осям;
- несколько имитаторов тепловой картины – отдельно для мишени и отдельно для фона, подключенных через стабилизатор тока.

Для изготовления образца установки были выбраны основные детали:

1. Корпусные детали изготавливали с помощью 3D-принтера из ABS-пластика, соединенные между собой шпильками резьбой M10 для обеспечения жесткости конструкции.

Для обеспечения движения мишени применены направляющие с линейными подшипниками.

2. Для обеспечения рассчитанных скоростей перемещения мишени были выбраны шаговые двигатели СДХ 1.8 40, 4SHG-023A 39S, |03-550-0|49, по горизонтальной оси привод осуществляется ременной зубчатой передачей, по вертикальной оси – винтовой.

3. Для управления шаговыми двигателями используются платы драйверов A4988.

4. В качестве блока микропроцессора выбрана плата на базе микроконтроллера MEGA 2560 R3.

5. Тепловые мишени изготавливаются из стеклотекстолита с нанесенными на нем медными проводниками. Принцип работы тепловых мишеней заключается в том, что через медную дорожку проходит фиксированный стабилизатором ток, который вызывает нагрев дорожки. Расчет нагрева дорожки приведен в работе [3]

В результате проделанной работы разработан и изготовлен стенд для испытаний алгоритмов тепловизионных приборов в однотипных условиях.

Библиографический список

1. **Сойфер В. А.** Методы компьютерной обработки изображений. М.: Физматлит, 2003. 784 с.
2. **Вудс Р., Гонсалес Р.** Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
3. **IPC-2221A** Generic Standard on Printed Board Design-Association Connecting Electronics Industries, www.ipc.org, 2003. 124 с.

References

1. **Soyfer V. A.** Metody komp'yuternoy obrabotki izobrazheniy (Methods of computer image processing). M.: Fizmatlit, 2003. 784 p.
2. **Vuds R., Gonsales R.** Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy (Digital image processing). M.: Tekhnosfera, 2005. 1072 p.
3. **IPC-2221A** Generic Standard on Printed Board Design-Association Connecting Electronics Industries, www.ipc.org, 2003. 124 p.

УДК 531.387

Е. Г. Федотов (ФГПОУ ВО «Тульский государственный университет»,
Тула, Россия, e-mail: egor.fedotov.1997@mail.ru)

ГИРОКОМПАС НА БАЗЕ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Аннотация. Описан гироскоп на базе микромеханического гироскопа, позволяющий определять ориентацию устройств и объектов в азимуте относительно географического меридиана. Приведены структурная и принципиальная схемы, принцип работы и способ выделения угла азимута.

Ключевые слова: гироскоп, микромеханический гироскоп, географический меридиан, датчик угловой скорости.

E. G. Fedotov (FSBEE HE «Tula State University», Tula, Russia)

GYRO-COMPASS BASED ON MICROMECHANICAL GYRO

Abstract. The report describes a gyro-compass based on a micromechanical gyroscope that allows to determine the orientation of devices and objects in the azimuth relative to the geographic meridian. A structural diagram, a schematic diagram, a principle of operation and a way of selecting the azimuth angle are given.

Index terms: gyro-compass, micromechanical gyroscope, geographic meridian, angular velocity sensor.

Гироскоп – прибор, позволяющий определять ориентацию устройства или объекта в азимуте относительно географического меридиана. В данной статье приведены примеры разных видов гироскопов, различающиеся по виду чувствительного элемента и принципу гироскопирования. В работе рассмотрен гироскоп (ГК) на базе микромеханического гироскопа (ММГ), обладающий малой массой, габаритами, энергопотреблением и достаточной точностью. В статье проведена схема ГК, включающая в себя:

- микромеханический гироскоп модели CRS39-03;
- датчик угла Е6С3;
- шаговый двигатель модели FL39ST34-0116A²;
- вращающееся основание.

Выходной сигнал ММГ представляет собой гармонический модулированный сигнал с постоянным смещением и засоренный шумом. Зада-

чей ГК является выделение фазы, содержащей информацию о смещении угла азимута.

На основании этого разработан алгоритм выделения фазы из сигнала гироскопа, приведенный в работе [1], по которому построена математическая модель в программе MATLAB. Сигнал гироскопа, пропущенный через фильтры нижних частот на выходе, выдает информацию об угле азимута.

Библиографический список

1. Матвеев В. В., Распопов В. Я. Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации на МЭМС-датчиках. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. 225 с.

References

1. Matveev V. V., Raspopov V. Ya. Pribry and systems of orientation, stabilization and navigation on MEMS sensors. Tula: Publishing House of Tula State University, 2017. 225 p.

УДК 629.7.05

С. А. Иванов (Раменский приборостроительный завод, Раменское, Московская область, Россия,
e-mail: srpremier@mail.ru)

ЗАВОДСКАЯ ИНТЕГРИРОВАННАЯ КАЛИБРОВКА БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация. Рассмотрена методика заводской интегрированной калибровки бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС). Типовая калибровка по определению систематических погрешностей инерциального измерительного модуля (ИИМ) дополняется процедурой параметрической идентификации стохастической модели ИИМ. Такая многоуровневая калибровка связана с необходимостью применения БИНС в навигационных комплексах на базе оптимальных оценивающих фильтров. Приведены результаты практического применения рассматриваемой методики.

Ключевые слова: бесплатформенная инерциальная навигационная система, калибровка, испытательный стенд, параметрическая идентификация, оптимальное оценивание погрешностей.

S. A. Ivanov (Ramensky Instrument-Making Plant, Ramenskoe, Moscow region, Russia)

FACTORY INTEGRATED CALIBRATION OF STRAPDOWN INER-SPECIAL NAVIGATION SYSTEM

Abstract. The paper considers the technique of factory integrated calibration of the strapdown inertial navigation system (SINS). Typical calibration by definition of systematic errors of the inertial measurement unit (IMU) is supplemented with the procedure of parametric identification of the stochastic IMU model. This multilevel calibration is associated with the need to use the SINS in integrated navigation systems based on the optimal estimation filters. The results of the practical application of the technique are presented.

Index terms: strapdown inertial navigation system, calibration, test bed, parametric identification, optimal estimation of errors.

Целью работы является расширение штатной методики заводской стендовой калибровки БИНС на задачи идентификации параметров стохастических моделей погрешностей чувствительных элементов (ЧЭ).

Штатная заводская калибровка БИНС реализуется на стенде фирмы Acutronic, включающем двухосный поворотный стол АС2247-ТСМ с термокамерой, газовым охлаждением и электрическим нагревом. Стенд обеспечивает точность задания углов поворота до 5 угловых секунд. Калибровочный эксперимент проводится по каждой оси БИНС [1] при заданной температуре и состоит из следующих этапов: в неподвижном состоянии с известным курсом; с заданной угловой скоростью вращения по каждой оси ИИМ; на неподвижных участках при различной ориентации осей.

Калибровочный эксперимент завершается процедурой контроля и расчета калибровочных характеристик БИНС по зарегистрированным данным. Проверка качества калибровки выполняется в разных температурных режимах с оценкой дрейфов, масштабных коэффициентов и перекосов осей чувствительности гироскопов и акселерометров с помощью фильтра Калмана. Штатная калибровка БИНС дополняется вычислением корреляционных функций для указанных оценок, с учетом которых вычисляются коэффициенты сноса и диффузии в соответствующих динамических моделях ошибок БИНС. Предлагаемая методика интегрированной калибровки апробирована в АО «РПЗ» и ориентирована на применение БИНС в составе навигационных комплексов, объединяющих системы, работа которых основана на различных физических принципах.

Библиографический список

1. Шаймарданов И. Х., Голиков В. П., Шлычкин М. В. Итерационная процедура калибровки чувствительных элементов БИНС // Авиакосмическое приборостроение. 2018. № 2. С. 3 – 17.

References

1. Shaimardanov I. Kh., Golikov V. P., Shlychkin M. V. Iterative procedure for the calibration of the sensing elements of the BINS // Aerospace Instrumentation. 2018. № 2. P. 3 – 17.

УДК 62-503.57

К. Г. Фаворский, Е. К. Фаворский, e-mail: egor.favorskiy@gmail.com (ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия)

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. Известные принципы синтеза оптимальных по быстродействию управления методом обратной связи чувствительны к наличию помех на входе регулятора. Предложено заменить гиперповерхность оптимального переключения несколькими поверхностями переключения, чем существенно снизить чувствительность к помехам.

Ключевые слова: оптимальное быстродействие, высокочастотные помехи, осреднение релейного управления, гиперповерхность оптимального переключения.

K. G. Favorskiy, E. K. Favorskiy (Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

SYNTHESIS OF OPTIMAL TIME CONTROL BY HIGH-FREQUENCY NOISE

Abstract. Well-known principles of synthesis of a system of optimal control by feedback method are sensitive to interferences at the input of the regulator. This research suggests to replace hypersurface of optimal switching with several hypersurfaces of switching, which will result in material reduction in sensitivity to interferences.

Index terms: optimum speed, high-frequency interference, averaging of relay control, hypersurface of optimal switching.

Синтез оптимальных по быстродействию управлений разработан для детерминированных систем. При наличии помех на входе регулятора синтез оптимальных управлений имеет особенности. Возможность применения того или иного метода синтеза определяется чувствительностью выбранного метода к помехам. Для определения моментов переключения вводится сравнение состояния объекта с гиперповерхностью оптимального переключения (ГОП). В этом случае при наличии высокочастотных помех изображающая точка не может двигаться на втором и последующих интервалах вдоль ГОП на нулевом расстоянии, как это предусмотрено в известных методах синтеза. Как показали исследования [1], при наличии высокочастотных помех этот метод синтеза применять не рекомендуется из-за появления отклонений полученной траектории от оптимальной траектории из-за осреднения

управления. В работе предлагается другой метод синтеза оптимальных управлений, в котором ГОП заменяется несколькими плоскостями переключения.

Рассматривается система оптимального по быстродействию перевода состояния объекта в конечную нулевую точку при наличии высокочастотных помех, которые суммируются с измеряемыми переменными состоянием. Уравнение объекта записывается в виде

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}U,$$

где $\dot{\mathbf{x}}$ – n -мерный вектор; $\mathbf{A}$ – диагональная матрица ($n \times n$); U – управляющее воздействие, ограниченное условием $|U| \leq 1$; $\mathbf{B}$ – матрица-столбец.

Вектор выхода $\mathbf{x}_b$ равен

$$\mathbf{x}_b = \mathbf{x} + \mathbf{v},$$

где $\mathbf{v}$ – n -мерный вектор высокочастотной аддитивной помехи. Отличим постановки задачи

от известных работ является присутствие высокочастотных помех v на входе регулятора.

Для определения знака управляющего воздействия на первом интервале и определения момента первого переключения в регуляторе используется ГОП. На первом интервале управления разность между точкой состояния и ГОП, как правило, существенно отлична от нуля. После первого переключения ГОП убирается обратно в память по сигналу состоявшегося первого переключения. Для определения момента второго переключения в пространство состояний выставляется гиперповерхность второго переключения (ГП2), с которой сравнивается измеренное состояние объекта. После второго переключения ГП2 убирается из пространства состояния и вводится ГП3, и т.д.

Гиперповерхности переключения ГП i рассчитываются на этапе проектирования регулятора и закладываются в память регулятора. В ГП i входят траектории ГОП, но с ростом номера переключения размерность траекторий, взятых из ГОП, уменьшается. При определении последнего переключения от ГОП используется только

одномерная траектория, проходящая через точку конечного приведения. Поэтому ГП i должны дополняться до размерности $(n - 1)$ так, чтобы ГП были ортогональны траектории.

Преимущество предлагаемого алгоритма заключается в том, что путем замены ГОП несколькими поверхностями переключения исключаются интервалы движения с малыми расстояниями от ГОП и существенно снижается чувствительность системы к наличию высокочастотных помех.

Библиографический список

1. Фаворский Е. К. Искажение оптимального по быстродействию управления при действии высокочастотных помех // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации. М., 2012. С. 21.

References

1. Favorskiy E. K. Optimal high-speed control distortion caused by high-frequency // Modern technologies in problem of control, automation and information processing. M., 2012. P. 21.

УДК 662.997.05(043)

О. Н. Гротова, доц., Мин Мин Тхо, аспирант, e-mail: minminthaw50@gmail.com,
А. В. Иванов, студент, e-mail: aleksey.ivanov.1995@mail.ru (ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», Москва, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ В ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Аннотация. Описана система слежения за Солнцем для фотоэлектрических энергетических установок и проведен расчет эффективности ее применения в городах, расположенных на разных широтах.

Ключевые слова: солнечная панель, фотоэлектрическая установка, система слежения.

O. N. Grotova, Min Min Thaw, A. V. Ivanov (Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

APPLICATION OF THE SUN TRACKING SYSTEM IN PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS

Abstract. The system of tracking the Sun for photovoltaic power plants is described and the efficiency of its application in cities located at different latitudes is calculated.

Index terms: solar panel, photovoltaic system, tracking system.

Сегодня во многих развитых странах заинтересованы развитием возобновляемой энергетики, в частности использованием энергии Солнца. Данное направление актуально, по-

скольку во многих странах ощущается дефицит ресурсов Земли для обеспечения электроэнергией, в связи с чем продолжается рост тарифов на электроэнергию.

Основными преимуществами солнечной энергетики являются: экологическая чистота, минимальные эксплуатационные затраты, простота использования. Солнечные энергетические установки (СЭУ) бывают стационарных и ориентированных типов. Стационарные СЭУ имеют малое значение КПД. КПД СЭУ имеет максимальное значение при попадании солнечных лучей под прямым углом. Но Солнце непрерывно перемещается по небосводу и из-за этого меняется угол падения солнечных лучей, тем самым уменьшается эффективность СЭУ [1].

Рассматриваемая в данной работе система слежения за Солнцем обладает высокой точностью слежения и возможностью дистанционного управления. Система слежения состоит из поворотного устройства и блока управления.

Поворотное устройство, ротатор, предназначено для слежения по азимуту и углу возвышения за Солнцем солнечные панели. Для выполнения этой задачи поворотное устройство состоит из механической части, предназначенной для позиционирования панели по двум осям, и электропривода с редукторами. Поворотное устройство под управлением микропроцессора автоматически направляет солнечную панель в направлении наибольшей освещенности. Поворот осуществляется с помощью двух независимых электродвигателей привода, поэтому не требуется проводить юстировку траектории слежения за Солнцем.

Система управления состоит из быстродействующего 16-разрядного микроконтроллера, содержащего электронную защиту от блокировки и перегрузки, средства для контроля направления движения и отображения информации. После ввода в устройство управления географических координат положения системы слежения, даты и времени процессор вычисляет углы азимута и возвышения в месте установки системы на все позиции Солнца в небе.

Была определена эффективность применения системы слежения в разных городах, расположенных на разных широтах. Выигрыш от использования такой системы относительно горизонтально расположенной солнечной панели составляет от 40 до 50 %. Таким образом, СЭУ со следящей системой имеют широкую область применения.

Библиографический список

1. Гротова О. Н., Мин М. Т. Использование периферийных устройств в автономных энергетических установках на территории республики Мьянма: матер. 16-й Междунар. конф. «Авиация и космонавтика – 2017». 20 – 24 ноября 2017 г. М.: Типография «Люксор», 2017. С. 178.

References

1. Gromova O. N., Min M. T. Use of peripheral devices in Autonomous power plants in the territory of the Republic of Myanmar: materials of the 16th international conference «Aviation and space-2017». 20 – 24 November 2017. M.: Printing house of Luxor, 2017. P. 178.

М. Г. Матвеев, д-р техн. наук, проф., e-mail: mgmatveev@yandex.ru, А. В. Иванов, канд. техн. наук, доц. (ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, Россия)

АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЙ В МОДУЛЬНОЙ АВИАНИКЕ

M. G. Matveev, A. V. Ivanov (Air Force Education and Research Center «The Zhukovsky and Gagarin Air Force Academy», Voronezh, Russia)

ALGORITHM FOR THE OPTIMAL ORGANIZATION OF CALCULATIONS IN MODULAR AVIONICS

Функциональные программные приложения авионики определяются совокупностью задач автоматического контроля и управления летательным аппаратом, таких как: управление пилотированием, управление бортовым оборудованием, мониторинг, визуализация и регистрация сигналов различных датчиков и т.п. Все эти задачи выполняются в режиме реального времени, циклично, по мере поступления обновляемой информации с единым тактом временного квантования T_0 . Техническое обеспечение решения этих задач включает сетевой комплекс устройств бортового оборудования (КБО), построенного на основе концепции интегрированной модульной авионики (ИМА) [1]. Важной задачей проектирования является задача рационального распределения функциональных приложений по вычислительным модулям КБО. Часто в качестве критерия такого распределения используются минимизации общего времени T выполнения всех задач обработки и передачи информации в рамках одного цикла управления T_0 [2]. Очевидно, что выполняется строгое неравенство $T < T_0$. В этом смысле минимизация T может обеспечить расширение состава функциональных приложений без увеличения такта квантования времени T_0 . Совокупность функциональных приложений можно рассматривать как комплекс программных модулей (далее операций), реализующих вычислительные операции, имеющих сетевую структуру, включающую последовательные и параллельно выполняемые операции.

Предлагается подход к распределению функциональных задач (операций) по вычислительным модулям крейта, основанный на методах планирования ресурсно-ограниченного проекта (Resource Constrained Project Scheduling Problem, RCPSP) [2, 3].

Пусть совокупность функциональных задач представлена в виде дуг сетевого графа, задающего логическую последовательность n вычислительных операций решения этих задач. Вершины графа представляют собой моменты времени начала t_i и окончания t_j соответствующей операции, заданной парой номеров вершин (i, j) . Будем считать, что продолжительность операций t_{ij} известна для всех пар (i, j) и зависит от производительности x ВМ. Тогда задача минимизации времени выполнения всех операций может быть представлена в следующем виде:

$$t_n - t_0 \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} t_j - t_i &\geq t_{ij}(x), \quad \forall (i, j); \\ T = t_n - t_0 &= \sum_i t_{ij}^k < T_0; \\ t_i &\geq 0, \quad i = t_0, t_1, \dots, t_n. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В результате решения формул (1), (2) определяются моменты времени $t_1, \dots, t_n$ и необходимая производительность x , задающие общую продолжительность $T = t_n - t_0$ всех вычислительных операций в рамках одного цикла управления T_0 . Минимизация T определяется как

сумма продолжительностей t_{ij}^k операций, лежащих на критическом (самом продолжительном) пути графа. Анализ рассмотренных решений показывает, что увеличение производительности до целочисленного максимума применяется к функциям, лежащим на критическом пути, что снижает возможные погрешности, связанные с округлением расчетных значений. Рассмотренные примеры показывают, что сокращение времени выполнения всех функций в цикле управления достигается многопроцессорным комплексом с фиксированным количеством процессоров различной производительности. Одновременно с сокращением времени выполнения функций возрастает коэффициент загрузки процессоров.

Библиографический список

1. Чуянов Г. А., Косьянчук В. В., Сельвицкий Н. И. Перспективы развития комплексов бортового оборудования на базе интегрированной модульной авионики // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. С. 55 – 62.
2. Шевляков А. О., Матвеев М. Г. Решение RCPSP при нечетких трудозатратах выполнения операций // Вестник ВГУ, серия «Системный анализ и информационные технологии». 2015. № 4. С. 121 – 125.
3. Распределение функциональных задач в оптимизируемой многопроцессорной системе авионики Матвеев М. Г. и др. // Вестник ВГУ, серия «Системный анализ и информационные технологии». 2017. № 3. С. 26 – 34.

УДК 67.05

Р. Р. Садеков, e-mail: Sadekoff7894@gmail.com, науч. рук. – канд. техн. наук, доц. **Д. А. Антонов** (ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛАТФОРМЫ СТЮАРТА И ВАРИАЦИИ АЛЛАНА

Аннотация. Приведены методика, аппаратное и алгоритмическое обеспечение полунатурного стенда имитации возмущений, действующих на автономный необитаемый подводный аппарат, на основе платформы Стюарта. Даны математическое описание системы управления стендом, конструкция и внешний вид макета.

Ключевые слова: платформа Стюарта, вариация Аллана, микромеханические датчики.

R. R. Sadekov (Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

EXPLORING THE PROPERTIES OF THE INERTIAL NAVIGATION SYSTEM USING THE STEWART PLATFORM AND THE ALAN VARIATION

Abstract. The technique, hardware and algorithmic support of the semi-realistic simulator of perturbations acting on an autonomous uninhabited underwater vehicle is described on the basis of the Stewart platform. The mathematical description of the control system of the stand, design and appearance of the layout is given.

Index terms: Stewart platform, Allan variation, MEMS sensors.

На современном этапе развития техники подводные аппараты, в том числе телеуправляемые и автономные необитаемые подводные аппараты (ТНПА и АНПА), находят все большее применение при выполнении гражданских и военных задач. Использование таких аппаратов влечет за собой необходимость применения высокоточных комплексных навигационных систем (КНС) [1], которые позволяют обеспечить автономную навигацию и траекторное управление во всех режимах эксплуатации объекта.

Одним из этапов разработки инерциальных измерительных модулей (ИИМ) КНС является оценка уровня влияния внешних возмущений на работу системы. Таким образом, встает проблема разработки методики и программно-аппаратного обеспечения исследования влияния возмущений на показания датчиков ИИМ, входящих в состав как высокоточных бесплатформенных инерциальных навигационных систем, так и малогабаритных инерциальных курсовертикалей, построенных на основе микромехани-

ческих датчиков, входящих в состав комплекса бортового оборудования АНПА и ТНПА.

Одним из решений поставленной задачи является применение платформы Стюарта [2]. Данное устройство позволяет имитировать динамику и испытуемого объекта с заданным профилем движения в трех плоскостях. Программно-алгоритмический комплекс осуществляет сбор и обработку данных, поступающих с измерительных датчиков и контроллера платформы Стюарта. Данные, полученные в результате исследования, проходят камеральную обработку методом вариации Аллана для оценки влияния возмущений на характеристики показаний датчиков ИИМ.

В докладе приводится методика, программно-математическое и аппаратное обеспечение полунатурного испытания ИИМ КНС АНПА и ТНПА, приведен анализ результатов.

Библиографический список

1. Веремеенко К. К., Антонов Д. А., Жарков М. В., Амирагов А. С. О концепции создания навигационного комплекса для автоматического нежилых подводного транспортного средства // Новости навигации. 2014. № 1. С. 28 – 33.
2. Стюарт Д. Платформа с шестью степенями свободы // Соединенное Королевство Институт инженеров-механиков, 1965 – 1966. Т. 180, № 15. С. 1.

References

1. Veremeenko K. K., Antonov D. A., Zharikov M. V., Amiragov A. S. On a creation concept of a navigation complex for an automatic uninhabited underwater vehicle // Navigation news. 2014. № 1. P. 28 – 33.
2. Stewart D. A Platform with Six Degrees of Freedom // UK Institution of Mechanical Engineers Proceedings, 1965 – 1966. V. 180, № 15. P. 1.

УДК 681.5.015.3

Д. Н. Анисимов, канд. техн. наук, доц., e-mail: anisimovdn@yandex.ru, Ю. А. Млюкова, студентка (ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОМЕХИ НА СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЦЕНОК ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация. Исследовано влияние уровня случайной помехи на точность идентификации методом экспоненциальной модуляции. В качестве критерия точности рассмотрены смещения и дисперсии оценок, а также безразмерный нормированный показатель качества.

Ключевые слова: идентификация, динамический объект, случайная помеха, статистические характеристики.

D. N. Anisimov, Yu. A. Mlyukova (National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF NOISE ON THE STATISTICAL CHARACTERISTICS OF ESTIMATES IN THE PARAMETRIC IDENTIFICATION OF DYNAMIC OBJECTS

Abstract. The report is devoted to the study of the influence of the level of random noise on the accuracy of identification by the method of exponential modulation. As a criterion of accuracy, we consider the bias and variance of estimates, as well as a dimensionless normalized quality index.

Index terms: identification, dynamic object, random disturbance, statistical characteristics.

Метод экспоненциальной модуляции (МЭМ) относится к интегрально-модуляционным методам идентификации и отличается про-

стойкой реализации и высокой помехоустойчивостью [1]. Рассматривается объект с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_m s^m + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + \dots + a_1 s + 1}. \quad (1)$$

Метод основан на формировании специальных модулирующих функций экспоненциального вида

$$\psi(t) = \exp(-t/\theta), \quad (2)$$

перемножении их на входной и выходной сигналы объекта и вычислении площадей под образованными кривыми. В результате оценка параметров объекта сводится к решению системы линейных уравнений.

Как показано в работе [2], статистические характеристики оценок параметров объекта (смещения, дисперсии, ковариации) зависят от ряда факторов: дисперсии сигнала помехи, интервала дискретизации по времени, постоянных времени модулирующих функций и истинных значений параметров. В докладе представлены результаты исследования этих характеристик от уровня случайной помехи, аддитивно приложенной к выходу объекта, представляющей собой равномерно распределенный дискретный белый шум.

Кроме этого, в качестве обобщенного критерия точности используется предложенный в работе [3] безразмерный нормированный показатель качества (БНПК):

$$Q_{\text{БНПК}} = -\lg \left\{ \frac{1}{M(\hat{a}_1)} \sum_{k=1}^n \left[|\Delta(\hat{a}_k)| + \sqrt{D(\hat{a}_k)} \right]^{1/k} + \frac{1}{M\left(\frac{\hat{b}_1}{\hat{b}_0}\right)} \sum_{i=1}^m \left[\left| \Delta\left(\frac{\hat{b}_i}{\hat{b}_0}\right) \right| + \sqrt{D\left(\frac{\hat{b}_i}{\hat{b}_0}\right)} \right]^{1/i} + \frac{\Delta(b_0) + \sqrt{D(b_0)}}{M(b_0)} \right\}. \quad (3)$$

Этот критерий учитывает смещения и дисперсии оценок всех параметров объекта.

Результаты исследования подтвердили работоспособность и эффективность метода экспоненциальной модуляции при высоком уровне помех.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-01-00054а).

Библиографический список

1. Анисимов Д. Н. Идентификация линейных динамических объектов методом экспоненциальной модуляции // Вестник МЭИ. 1994. № 2. С. 68 – 72.
2. Анисимов Д. Н., Хрипков А. В. Законы распределения оценок параметров динамических объектов при идентификации методом экспоненциальной модуляции // Проблемы управления. 2007. № 4. С. 14 – 18.

3. Анисимов Д. Н., Хрипков А. В. Разработка критерия качества оценивания параметров динамических объектов при идентификации различными методами // Тр. Междунар. конф. «Информационные средства и технологии» МФИ-2009. 20 – 22 октября 2009, Москва. С. 163 – 168.

References

1. Anisimov D. N. Identifikaciya linejny`x dinamicheskix ob`ektov metodom e`ksponencial`noj modulyacii // Vestnik ME`I. 1994. № 2. P. 68 – 72.
2. Anisimov D. N., Xripkov A. V. Zakony` raspredeleniya ocenok parametrov dinamicheskix ob`ektov pri identifikacii metodom e`ksponencial`noj modulyacii // Problemy` upravleniya. 2007. № 4. P. 14 – 18.
3. Anisimov D. N., Xripkov A. V. Razrabotka kriteriya kachestva ocenivaniya parametrov dinamicheskix ob`ektov pri identifikacii razlichny`mi metodami // Tr. Mezhdunar. konf. «Informacionny`e sredstva i texnologii» MFI-2009. 20 – 22 oktyabrya 2009, Moskva. P. 163 – 168.

УДК 001.891.573

А. А. Маслов, e-mail: imasslove@mail.ru, **Е. Э. Холева**, e-mail: lizo4ka0909@gmail.com,
С. Г. Тихомиров, e-mail: tikhomirov_57@mail.ru (ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Воронеж, Россия)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ВУЛКАНИЗАЦИИ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Аннотация. Рассмотрено численное моделирование процесса вулканизации для решения двух взаимосвязанных задач: задачи определения температурного поля в изделии и задачи построения на базе этого поля кинетики вулканизации. Предложена методика расчета температурного поля, степени завершенности процесса вулканизации. Сформулирован критерий оптимальности для времени вулканизации применительно к резиновым изделиям.

Ключевые слова: температурное поле, кинетика вулканизации, математическое моделирование.

A. A. Maslov, E. E. Kholeva, S. G. Tikhomirov
(FSBEI HE «Voronezh State University of Engineering Technologies», Voronezh, Russia)

DETERMINATION OF THE OPTIMAL VULCANIZATION OF RUBBER COMPOUNDS

Abstract. Numerical simulation of the vulcanization process involves the solution of two interrelated problems: the problem of determining the temperature field in the product and the construction on the basis of this field of the kinetics of vulcanization. The method of calculation of a temperature field, degree of completeness of process of vulcanization is offered. The criterion of optimality for the vulcanization time for rubber products is formulated.

Index terms: temperature field, vulcanization kinetics, mathematical modeling.

Под оптимальным временем вулканизации обычно понимается время достижения максимума на кинетической кривой вулканизации. Вместе с тем из-за неоднородного распределения температуры в толстостенном изделии оптимальное время вулканизации в разных точках сечения образца различно [1]. Анализ экспериментальных данных показал, что существуют области с неполной степенью вулканизации, которые являются источниками как технологических (пузырей), так и эксплуатационных дефектов (расслоение изделия при недовулканизации). Поэтому в качестве оптимального времени вулканизации принимают время, за которое достигается максимум в точке сечений изделия, в которой степень вулканизации имеет наименьшее значение по сравнению с остальными точками сечений. Численное моделирование процесса вулканизации предполагает решение двух взаимосвязанных задач: задачи определения *температурного поля в изделии* и задачи построения на базе этого поля *кинетики вулканизации*. Предложена методика расчета температурного поля, степени вулканизации резиновых образцов. Методика реализует нахождение оптимального

режима процесса вулканизации: $t^{\text{опт}}$. Величина продолжительности вулканизации $t_{\text{вулк}} = t^{\text{опт}}$, при которой степень вулканизации в так называемой «холодной» точке образца достигает заданного значения α (обычно значение α полагается 0,95...0,98). Применение предлагаемой методики расчета обеспечивает высокую точность получаемых результатов и позволяет выбрать оптимальный режим вулканизации.

Библиографический список

1. Пятаков Ю. В., Тихомиров С. Г., Карманова О. В., Маслов А. А. Расчет температурных полей в процессе вулканизации // XXVII Междунар. симпозиум «Проблемы шин, РТИ и эластомерных композитов»: сб. науч. тр. М.: ООО НПКЦ ВЕСКОМ, 2016. С. 405 – 413.

References

1. Pyatakov Yu. V., Tikhomirov S. G., Karmanova O. V., Maslov A. A. Raschet temperaturnykh poley v protsesse vulkanizatsii // XXVII Mezhdunarodnyy simpozium «Problemy shin. RTI i elastomernykh kompozitov»: Sbornik nauchnykh trudov. M.: ООО NPKTs VESKOM, 2016. P. 405 – 413.

УДК 681.516.32

В. М. Беседин, д-р техн. наук, проф., e-mail: BesedinVM@mpei.ru, **Н. М. Хайбулаева**, студентка (ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОИСКА В ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЕ

Аннотация. Рассмотрена разработка алгоритмов одностороннего пространственного поиска в двухконтурной системе, когда вероятность ложной тревоги равна нулю. Поиск осуществляется по трем стратегиям сканирования: оптимальный поиск (О), равномерный поиск (Р), оптимальный в классе равномерных (ОКР).

Ключевые слова: поиск, система автоматического управления, оптимизация, стратегия сканирования.

V. M. Besedin, N. M. Khaybulaev (National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

DESIGNING AND RESEARCH OF ALGORITHMS OF SPATIAL SEARCH IN DOUBLE-CIRCUIT SYSTEM

Abstract. The article is devoted to algorithms designing of unilateral spatial search in double-circuit system when false alarm probability is equal to zero. Search is realized in three scanning strategy: optimum search (O), uniform search (U), optimum one in an uniform group (OUG).

Index terms: search, automatic control system, optimization, scanning strategy.

В поисковых системах необходимо обеспечить высокую угловую точность, поэтому данные системы, как правило, строятся по двухконтурной схеме, где совмещается использование «грубого» и точного контуров [1].

В качестве критерия эффективности поиска 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.

На примере одностороннего поиска в двухконтурной системе были реализованы алгоритмы: Р–Р, ОКР–ОКР, О–О. Одномерная оптимизация, решенная с помощью метода золотого сечения и поиска оптимального в классе равномерных, найденная методом полного перебора, используется для задач равномерного поиска.

Для оптимального поиска используется многомерная оптимизация, решенная методом Эрроу–Гурвица [2].

Данные алгоритмы одностороннего поиска реализованы на языке Python. На основе полученных данных были построены графики зависимости вероятности обнаружения объекта от суммарного объема поисковых усилий для стратегий: Р, ОКР и О, которые продемонстрировали эффективность оптимального поиска среди остальных стратегий поиска в двухконтурной системе.

Библиографический список

1. **Чернявский Г. М., Чернов А. А.** Лазерные системы в космосе (информационная технология). М.: Радио и связь, 1995. 224 с.
2. **Пантелеев А. В., Летова Т. А.** Методы оптимизации в примерах и задачах: учеб. пособие. 3-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2008.

References

1. **Chernyavsky G. M., Chernov A. A.** Lazernie sistemi v kosmose (informazionnaya tekhnologiya). (Laser systems in space (information technology)). M.: Radio and Communication, 1995. 224 p.
2. **Panteleev A. V., Letova T. A.** Metodi optimizacii v primerakh i zadachakh (Optimization methods in examples and problems): Usheb. posobie. 3-e izd, ster. M.: Vissh. shk., 2008.

Е. А. Карпов, e-mail: karpov.evg98@mail.ru, О. А. Шеина,
науч. рук. – д-р физ.-мат. наук, проф. М. Е. Семенов
(ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Россия)

СТАБИЛИЗАЦИЯ ХАОСА В МОДИФИЦИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ЛОРЕНЦА

Аннотация. Исследована динамика водяного колеса, описываемая модифицированной системой Лоренца путем введения сухого трения. Для анализа системы используются спектр Ляпуновских показателей, метод бифуркационных диаграмм, а также первый метод Ляпунова. Установлены новые стохастические свойства, исследованы устойчивость стационарных решений, а также свойства индивидуальных решений.

Ключевые слова: хаос, система Лоренца, бифуркационная диаграмма, водяное колесо.

Е. А. Karpov, O. A. Sheina (Voronezh State University, Voronezh, Russia)

STABILIZATION OF CHAOS REGIMES IN MODIFIED LORENZ SYSTEM

Abstract. In this article explored the dynamic of water wheel which described by Lorenz system equations with dry friction. The Lyapunov Exponents spectrum, the bifurcation diagram method and Lyapunov's classical first method, were used to analyze modified system. New stochastic properties are established, the stability of critical points and properties of individual solution is investigated.

Index terms: chaos, Lorenz system, bifurcation diagram, water wheel.

В настоящее время множество работ посвящено исследованию системы, которую в 1963 году получил американский ученый Э. Лоренц [2]. С помощью этой системы можно описать множество моделей, например одномодовый лазер, конвекцию в подогреваемом снизу слое жидкости и многие другие.

Одной из моделей, описываемых системой уравнений Лоренца, является модель водяного колеса. Она представляет собой колесо, на ободе которого закреплены чаши, сверху на колесо льется поток воды и в зависимости от скорости

этого потока колесо будет неподвижно, вращаться с постоянной скоростью, либо вращаться хаотически.

Однако к настоящему времени при анализе динамики не учитывается сухое трение на оси, имеющее место в реальных физических моделях. Его учет модифицирует систему следующим образом:

$$\begin{cases} \dot{x} = \sigma(y - x) - M \operatorname{sign}(x); \\ \dot{y} = x(r - z) - y; \\ \dot{z} = xy - bz. \end{cases}$$

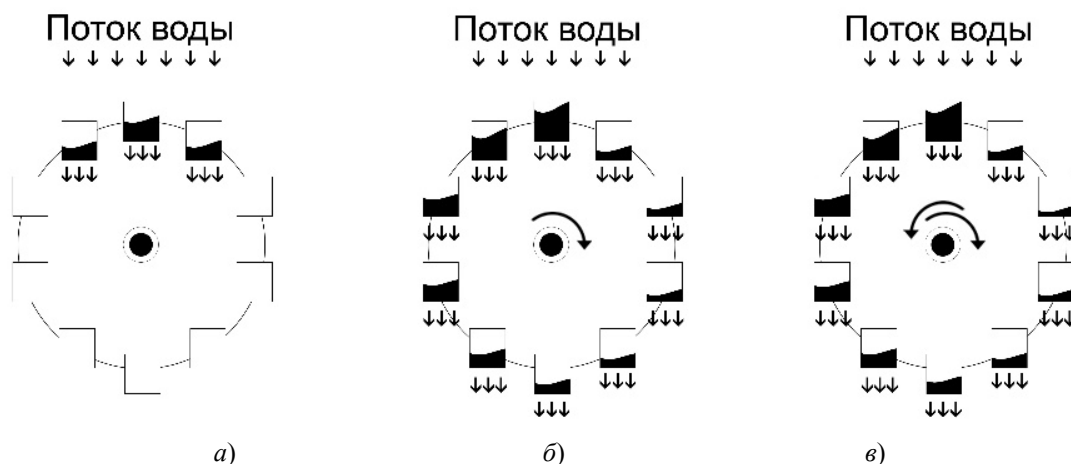


Рис. Модель водяного колеса:

а – неподвижно; б – вращается с постоянной скоростью; в – вращается хаотически

В настоящей работе проведен анализ и сравнение полученной модифицированной системы Лоренца с классической системой. Установлены, в частности, новые свойства стационарных решений, исследована динамика ляпуновских показателей, построена бифуркационная диаграмма (в зависимости от различных параметров), а также установлены новые стохастические свойства.

Библиографический список

1. Красносельский М. А., Покровский А. В. Системы с гистерезисом. М.: Наука, 1983. 272 с.
2. Lorenz E. N. Deterministic nonperiodic flow // Journal of the Atmosphere Science. 1963. V. 20(2). Is. 2. P. 130 – 141.

3. Wolf A., Swift J. B., Swinney H. L., Vastano J. A. Determining Lyapunov exponents from a time-series // Physica D: Nonlinear Phenomena. 1985. V. 16. Is. 3. P. 285 – 317.

References

1. Krasnosel'skii M. A., Pokrovskii A. V. Systems with Hysteresis. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1989. P. 410.
2. Lorenz E. N. Deterministic nonperiodic flow // Journal of the Atmosphere Science. 1963. V. 20(2). Is. 2. P. 130 – 141.
3. Wolf A., Swift J. B., Swinney H. L., Vastano J. A. Determining Lyapunov exponents from a time-series // Physica D: Nonlinear Phenomena. 1985. V. 16. Is. 3. P. 285 – 317.

УДК 681.5.018.8

О. С. Колосов, д-р техн. наук, проф., e-mail: kolosovos@mpei.ru, А. А. Кузнецова, аспирантка (ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

ДИНАМИКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ПИД-РЕГУЛЯТОРОМ С УВЕЛИЧЕННЫМ ШАГОМ ДИСКРЕТИЗАЦИИ В КАНАЛЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ

Аннотация. Исследовано влияние увеличенного шага дискретизации в канале дифференцирования ПИД-регулятора на динамику систем управления при наличии ограничений в усилительном тракте.

Ключевые слова: система управления, большой шаг дискретизации, ПИД-регулятор.

O. S. Kolosov, A. A. Kuznetsova (National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

CONTROL SYSTEMS DYNAMICS WITH BIG STEP OF DIFFERENTIATION IN PID-CONTROLLER

Abstract. There are discussing influence on nonlinear control system dynamics by the big step of differentiation in PID-controller.

Index terms: control system, big step of differentiation, PID-controller.

Несмотря на повсеместное распространение ПИД-регуляторов, реализуемых на базе микропроцессорных контроллеров, интерес к вопросам выбора их параметров и методикам настройки не ослабевает [1]. Следует отметить, что растущее быстродействие современных контроллеров приближает их свойства к идеальным аналоговым регуляторам. Это, в основном положительное явление, не распространяется на операцию

дифференцирования. Высокая частота дискретизации при взятии производной сигнала управления существенно расширяет полосу пропускания системы для высокочастотных помех. Для устранения этого нежелательного явления в канал дифференцирования ПИД-регулятора приходится вводить дополнительный дискретный фильтр низких частот [1]. По существу последовательное применение алгоритма взятия производной и

алгоритма, реализующего фильтр низких частот, в совокупности аналогично пропусканию управляющего сигнала через реальное дифференцирующее звено в аналоговом исполнении ПИД-регулятора. С другой стороны, в работе [2] показывается, что реализация операции дифференцирования с увеличенным шагом дискретизации избавляет от необходимости постановки в канал дифференцирования фильтра низких частот и улучшает помехозащищенность системы. Однако в работе [2] не рассматриваются вопросы динамики системы с подобным регулятором.

В докладе проводится сравнительный анализ динамических свойств непрерывных систем с ПИД-регулятором и систем, где в канале дифференцирования реализуется один из трех основных дискретных алгоритмов взятия производной с увеличенным шагом дискретизации. Показываются их положительные свойства при наличии ограничений в тракте усиления сигналов управления, находятся ограничения, накладываемые на выбор их параметров и обеспечивающие требуемое качество и устойчивость сис-

темы. Производится сравнительный анализ фильтрующих свойств непрерывного и каждого из рассматриваемых алгоритмов дифференцирования с увеличенным шагом дискретизации.

Библиографический список

1. Денисенко В. В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации // Современные технологии автоматизации. 2007. № 4. С. 86 – 97; 2008. № 1. С. 86 – 98.
2. 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. 135 с.

References

1. Denisenko V. V. PID-controller: realization problem // Modern control technology. 2007. № 4. P. 86 – 97; 2008. № 1. P. 86 – 98.
2. Kolosov O. S., Koshoeva B. B., Morozov R. B. Additional variable parameter for PID-controller (Differentiation with big step.). «Palmarium Academic Publishing». 2016. 135 p.

УДК 681.5.018.8

О. С. Колосов, д-р техн. наук, проф., e-mail: kolosovos@mpei.ru, В. А. Короленкова, студентка (ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ PATTERN ЭЛЕКТРОРЕТИНОГРАММ ПРИ ОЦЕНКЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЧАТКИ ГЛАЗА ДЛЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ

Аннотация. Рассмотрена методика оценки частотных свойств сетчатки глаза путем обработки PATTERN электроретинограмм для систем диагностики.

Ключевые слова: частотная характеристика, электроретинограмма, система диагностики.

O. S. Kolosov, V. A. Korolenkova (National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

IDENTIFICATION METHOD OF PATTERN ELECTRORETINOGRAM FRICUENSY CHARACTERISTIC FOR DIAGNOSTIC SYSTEMS

Abstract. There are discussing identification method of PATTERN electroretinogram fricuensty characteristic for diagnostic systems.

Index terms: fricuensty characteristic, electroretinogram, diagnostic systems.

Формирование признакового пространства при создании диагностической системы является одной из важнейших задач. Признаковое пространство, используемое при построении сис-

темы диагностики патологий сетчатки глаза, содержит ряд признаков, извлекаемых из записей электроретинограмм (ЭРГ) [1]. ЭРГ – это запись изменений биопотенциала сетчатки в ответ на

разные световые стимулы. Как правило, в качестве признаков в ЭРГ фиксируются координаты характерных точек. Координаты таких точек оцениваются с относительно большой погрешностью по записям PATTERN ЭРГ (при наблюдении чередующегося «шахматного поля»). Объясняется это существенно малым уровнем отклика по сравнению с другими ЭРГ. Из-за этого, несмотря на наличие заземления, в наблюдаемой ЭРГ существенно проявляется дрейф нулевой (базовой) линии, относительно которой производится отсчет амплитуд.

В докладе на основе разработанной имитационной модели участка сетчатки, воспроизводящего PATTERN ЭРГ (ПЭРГ), были изучены свойства стимулирующего сигнала, разработана методика фильтрации дрейфа базовой линии и получения частотной характеристики сетчатки в данном режиме. Показывается, что входное стимулирующее воздействие может быть определено как импульс при смене цвета наблюдаемых полей. Как правило, эта задержка составляет 1...2 микросекунды, что и является причиной низкого уровня отклика (ПЭРГ) сетчатки и наблюдаемого слабого дрейфа базовой линии. Обработка реальных ПЭРГ

по предложенной методике позволяет повысить точность фиксации признаков по преобразованной ПЭРГ и получить дополнительные признаки, извлекаемые из частотной характеристики сетчатки в этом режиме.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-01-00054а).

Библиографический список

1. Гранит Р. Электрофизиологические исследования рецепции / пер. с англ. М., 1947.
2. Оценка частотных свойств динамического объекта с использованием импульсных тестирующих сигналов / О. С. Колосов, Д. А. Баларев, А. Д. Пронин и др. // Мехатроника, автоматизация, управление. 2017. Т. 18, № 4. С. 219 – 226.

References

1. Granit R. Electrophysiological signs of reception / tr. from English. M. 1947.
2. Evaluation points of the complex frequency characteristics of a dynamic object using pulse testing impact Published under licence by IOP / E. S. Antohina, D. A. Balarev, D. V. Vershinin et al. // Publishing Ltd Journal of Physics: Conference Series. V. 891. P. 1 – 5.

УДК 681.5.018.8

Д. В. Вершинин, канд. техн. наук, доц., О. С. Колосов, д-р техн. наук, проф., e-mail: kolosovos@mpei.ru, Н. И. Овчинников, студент, О. И. Парфенова, студентка (ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМИ КОНТРОЛЛЕРАМИ

Аннотация. Рассмотрена параметрическая идентификация замкнутой системы управления с использованием характерных точек на экспериментальных диаграммах Боде разомкнутой системы, которые получают с помощью встроенного в систему микропроцессорного контроллера.

Ключевые слова: замкнутая система управления, микропроцессорный контроллер.

D. V. Vershinin, O. S. Kolosov, N. I. Ovchinnikov, O. I. Parfenova
(National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

PARAMETERIZES IDENTIFICATION OF CLOSE LOOP CONTROL SYSTEM WITH MICROCONTROLLERS

Abstract. Report devoted the parametric identification close-loop control system with Bode diagram some special points of out-loop control system, which defended microcontroller.

Index terms: parametric identification, close loop control system, microcontroller.

Одной из серьезных проблем в практике построения систем автоматического управления остается получение адекватной динамической мо-

дели системы в тех случаях, когда нет возможности исследовать ее в разомкнутом состоянии. Известные способы, связанные с оценкой показа-

теля колебательности [1], обладают относительно невысокой точностью и не всегда их можно использовать на практике. С другой стороны, в системы управления стали широко внедряться управляющие микропроцессорные контроллеры, которые не только реализуют ПИД-законы регулирования в системе, но и позволяют получать в определенном диапазоне частот диаграммы Боде (логарифмические амплитудно-частотные (ЛАЧХ) и фазочастотные (ЛФЧХ) характеристики) разомкнутой и замкнутой структур систем [2]. Следует особо подчеркнуть, что с помощью контроллера удастся достаточно точно оценить ЛФЧХ, чего не удавалось раньше с использованием стандартных генераторов. Это обстоятельство дает возможность эффективно производить параметрическую идентификацию замкнутых систем управления в окрестности рабочего режима.

В докладе последовательно излагается ряд приемов работы со статическими характеристиками замкнутых систем и с диаграммами Боде для разомкнутых и замкнутых систем, реализующих идентификацию параметров передаточных функций систем в разомкнутом состоянии. Среди предлагаемых приемов представляют интерес приемы, связанные с использованием па-

раметров точек диаграмм Боде, когда ЛФЧХ достигает уровня -90° . Показывается, что частоты и значения модулей амплитуд, извлекаемых из ЛАЧХ для этих точек, достаточно быстро и точно позволяют оценить параметры системы, построить ее асимптотическую ЛАЧХ и провести выбор параметров регулятора. Описываемые приемы отрабатывались на лабораторном макете электромеханической системы управления частотой вращения синхронного двигателя ЕСМА-С1-0604FS со встроенным энкодером, с сервопреобразователем ASD-A2-0421OU и регулятором на базе микропроцессорного контроллера Delta ASD-A2 [2].

Библиографический список

1. Ротач В. Я. Теория автоматического управления. М.: Изд-во МЭИ, 2004. 314 с.
2. Delta ASD-A2. ASIA DTLTATELETKTRO-NIKS. URL: <http://www.deltronics.ru>

References

1. Rotach V. Ya. Theory of avtomatic control. M.: Publishing of MPEI, 2004. 314 p.
2. Delta ASD-A2. ASIA DTLTATELETKTRO-NIKS. URL: <http://www.deltronics.ru>

УДК 517.926.4

О. М. Державин, д-р техн. наук, проф., e-mail: derzhavinom@mpei.ru, Т. В. Кудрина, студентка (ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА СКОЛЬЗЯЩЕГО ДЕТЕРМИНАНТА С УЧЕТОМ ЗАШУМЛЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИЙ ПРОЦЕССОВ

Аннотация. Приведены результаты влияния фильтрации шумов в реализациях процессов на точность метода скользящего детерминанта. Исследование проведено на модели сингулярно возмущенной системы, заданной в нормальной форме Коши при воздействии белого гауссовского шума приведенного ко входу системы.

Ключевые слова: сингулярно возмущенная система, скользящий детерминант, фильтрация шумов.

O. M. Derzhavin, T. V. Kudrina (National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

INVESTIGATION OF THE SLIDING DETERMINANT METHOD TAKING INTO ACCOUNT THE NOISINESS OF PROCESS REALIZATIONS

Abstract. The report presents the results of the effect of noise filtering in process realizations on the accuracy of the sliding determinant method. The investigation is carried out on the model of a singularly perturbed system given in the normal Cauchy form under the influence of white Gaussian noise reduced to the input of the system.

Index terms: singularly perturbed system, sliding determinant, noise filtering.

В докладе рассматривается метод скользящего детерминанта исследования сингулярно возмущенных моделей линейных динамических

систем. Данный метод ориентирован на возможность проведения исследования не только на основе аналитической модели системы, но и по

информации о системе в виде реализации ее процессов, что открывает возможности непосредственного использования характеристик, полученных экспериментальным путем. Однако данный подход выдвигает в качестве актуальной задачу оценки влияния зашумленности реализаций, что имеет место при исследовании реальных объектов.

В работе [1] данный вопрос рассматривался в постановке выбора наилучшего варианта обработки данных как исходных процессов, так и конечных показателей исследования. Было показано, что таким путем не всегда удастся реализовать метод скользящего детерминанта с требуемой точностью исследования. В настоящей работе предлагается производить дополнительную фильтрацию реализаций процессов, направленную на уменьшение шумовой составляющей. В качестве фильтров рассматривались фильтры низких частот с амплитудно-частотной характеристикой типа инерционного звена. Рассматривались случаи одно- и двухслойных систем фильтрации, где в каждом слое имеют место одинаковые фильтры. При однослойной фильтрации обработке подвергались сигналы выходов системы. На фильтры второго слоя подавались выходы первого слоя фильтров. Проблема заключалась в том, что включение фильтров повышало порядок исследуемого методом скользящего детерминанта объекта на единицу (однослойная фильтрация) и на два (двухслойная фильтрация). Недостающие (один или два) дополнительные процессы, необходимые для построения скользящего детерминанта, было предложено брать с предыдущих входов фильтров.

Для указанной модели проведена серия экспериментов при различных отношениях мощности сигнала к мощности шума от 5 до 20 дБ. Было проведено по десять опытов (для каждого соотношения сигнал/шум). По реализациям, взятым на выходе системы, после первого и второго слоев фильтров были найдены функции скользящего детерминанта,

Результаты исследования

Соотношение $P_c/P_{ш}$, дБ	Отклонение от истинной величины собственного значения, %	
	На выходе 1-го слоя	На выходе 2-го слоя
5	38	3,6
10	34	2,1
15	6	4,9
20	7,8	1,3

приведены рассчитанные на их основе оценки точности метода.

Точность определялась путем оценивания собственного значения системной матрицы, определяющей свойства сингулярности модели и получаемого с помощью метода скользящего детерминанта. Результаты исследования приведены в таблице.

Таким образом, показано, что фильтрация реализаций процессов позволяет снизить погрешность метода скользящего детерминанта до допустимого уровня и делает актуальным проведение дальнейших исследований по нахождению оптимальных способов фильтрации.

Библиографический список

1. Державин О. М., Кудрина Т. В. Исследование влияния шумов в реализациях процессов на точность метода скользящего детерминанта // Сб. тр. XXV Междунар. науч.-техн. конф. «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации» 14 – 17 сентября 2016 г., Алушта. М.: Технология, 2016.

References

1. Derzhavin O. M., Kudrina T. V. Study of noise in realization processes on the accuracy of a sliding determinants method // Collection of Works XXV International Scientific and Technical Conference «Modern Technologies in Control, Automation and Information Processing Problems» 14 – 17 September 2016, Alushta. M.: Texnologiya, 2016.

Т. В. Ягодкина, канд. техн. наук, проф., А. А. Ларин, студент
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия, dembskaya@mail.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДАЛЬНЫХ АДАПТИВНЫХ МИМО-СИСТЕМ С ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ ПАРАМЕТРАМИ

Аннотация. Исследованы оптимальные параметры для работы модальных адаптивных систем.

Ключевые слова: система управления, идентификация, адаптивные системы.

T. V. Yagodkina, A. A. Larin (National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

THE RESEARCH OF MODAL ADAPTIVE MIMO-SYSTEMS WITH CHANGING PARAMETER

Abstract. The influence of optimal parameters for the operation of modal adaptive systems.

Index terms: control system, identification, adaptive systems.

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. Однако стоит отметить, что вопросы точности и грубости модели идентификации для синтеза инвариантной системы с модальным регулятором требуют дополнительных исследований [1].

В результате проведения структурной идентификации был определен порядок (равный 6) [2]. Модули в библиотеке состоят из следующих блоков: 3 МИМО-блочно-структурированных объектов, структура которых отображается на блоке, блок модального управления МИМО-системы, блок модального управления SISO-системы. Необходимо первоначальное исследование класса объектов для получения сигналов достаточной продолжительности $T_{\text{иден}}$ и максимальную амплитуду сигналов $U_{\text{иден}}$. Следует отметить, что $T_{\text{иден}}$ может быть получено из частотных характеристик объекта как $1/\omega_1$, где ω_1 – первая частота сопряжения в ЛАЧХ объекта или модели, а $U_{\text{иден}}$ рассчитана как одна треть от максимального выхода объекта. На примере работы блока идентификации при помехах получены следующие результаты:

– на основе математического моделирования и экспериментальных исследований получена зависимость между параметрами входных сигналов и точностью модели;

– даны рекомендации по выбору входных сигналов, что позволяет в результате идентификации 2×2-объекта 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].

Библиографический список

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

References

1. Kuzovkov N. T. Modal'noe upravlenie i nablyudayushchie ustroystva. M.: Mashinostroyeniye, 1976.
2. Osina A. V., Vu An' Hien, Yagodkina T. V. Razrabotka metoda postroyeniya invariantnykh system modal'nogo upravleniya s identifikatorami // «Nauchnye tekhnologii». M.: Izdatel'stvo «Radiotekhnika». 2015. № 11. P. 21 – 27.
3. Vu An' Hien, Yagodkina T. V. Sintz invariantnoj sistemy adaptivnogo modal'nogo upravleniya na baze sledyashchej sistemy // «Fundamental'nye issledovaniya». Izdatel'skij Dom «Akademiya Estestvosnaniya». 2016, № 6 (chast' 1). P. 52 – 57.

УДК 681.511.4

О. М. Державин, д-р техн. наук, проф., Т. Ю. Ковалева, канд. техн. наук, доц., Д. А. Легошин, ассистент (ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский институт «МЭИ», Москва, Россия, dimonster_92@mail.ru)

УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВТОКОЛЕБАНИЙ В МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ СИСТЕМАХ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Аннотация. Рассмотрены условия возникновения автоколебаний в мультипликативных системах второго порядка.

Ключевые слова: мультипликативная система, периодический процесс, автоколебания.

O. M. Derzhavin, T. Yu. Kovaleva, D. A. Legoshin
(National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

CONDITIONS FOR THE OCCURRENCE OF SELF-OSCILLATIONS IN SECOND-ORDER MULTIPLICATIVE SYSTEMS

Abstract. Conditions for the occurrence of self-oscillations in second-order multiplicative systems.

Index terms: multiplicative system, periodic process, autooscillations.

Мультипликативные системы составляют самостоятельный класс нелинейных динамических систем. Особенностью моделей его описания является наличие в них нелинейных элементов с двумя входами и одним выходом с процессом, являющимся произведением процессов на его входах. Данная особенность не позволяет при исследовании автоколебаний использовать графоаналитические методы в их классическом представлении.

В настоящем докладе рассматриваются условия возникновения автоколебаний в мультипликативных системах второго порядка, описываемых уравнениями вида

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = ax + bxy; \\ \frac{dy}{dt} = cy + dxy. \end{cases} \quad (1)$$

Такой моделью, в частности, описываются процессы при взаимодействии двух конкурирующих видов («хищник–жертва», «паразит–хозяин» и др.) [1]. Система (1) может быть представлена в форме структурной схемы, в которой сигнал с выхода мультипликативного нелинейного элемента поступает на его входы после преобразования соответствующими звеньями первого порядка с передаточными функциями $W_1(p)$ и $W_2(p)$. В пространстве параметров можно выделить три области, соответствующие

ков модели: 1) среди звеньев $W_1(p)$, $W_2(p)$ нет интегрирующего звена ($a \neq 0$, $c \neq 0$), а сами звенья являются инерционными или квазиинерционными; 2) одно из звеньев является интегрирующим ($a = 0$, $c \neq 0$) и 3) оба звена являются интегрирующими ($a = c = 0$).

Для модели первого типа получены условия возникновения автоколебаний. Показано, что частота автоколебаний и постоянная составляющая периодического процесса определяются по параметрам амплитудно-фазовой характеристики параллельного соединения нормированных звеньев $W_1(p)$ и $W_2(p)$ в точке пересечения с вещественной осью. Приводится соотношение для определения амплитуды автоколебаний при найденных значениях частоты и постоянной составляющей.

Анализ структуры второго типа показал, что при любых значениях параметров системы автоколебания отсутствуют. В третьем случае автоколебания также отсутствуют. При одинаковых знаках добротностей звеньев имеет место неустойчивость особой точки с аperiodически расходящимися процессами. При различных знаках добротностей, вне зависимости от их значений, процессы сходятся к особой точке.

В заключение отметим, что результаты аналитического анализа подтверждаются результатами моделирования всех случаев в среде MATLAB/Simulink.

Библиографический список

1. Кузенков О. А., Рябова Е. А., Круподерова К. Р. Математические модели процессов отбора. Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2012. 183 с.

References

1. Kuzenkov O. A., Ryabova E. A., Krupnoderova K. R. Matematicheskie modeli processov otbora (Mathematical models of selection processes). Nizhny Novgorod: Nizhegorodsky University, 2012. 183 p.

УДК 681.5.015

С. А. Хризолитова, канд. техн. наук, доц., e-mail: khrizolitovasa@mpei.ru, А. А. Попов, студент (ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ В ПРЕЦИЗИОННЫХ ИТЕРАЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМАХ

Аннотация. Исследованы перспективные прецизионные следящие системы, точность которых не достижима для одноканальных систем. Рассмотрены синтез, коррекция, анализ влияния нелинейных элементов и идентификация типа и места их включения в системе.

Ключевые слова: система управления, прецизионная точность, нелинейные элементы, электромеханическая следящая система.

S. A. Khrizolitova, A. A. Popov (National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

IDENTIFICATION OF NONLINEARITIES IN PRECISION ITERATIVE ELECTROMECHANICAL SERVOSYSTEMS

Abstract. This work is devoted to investigation of advanced precision servosystems, the accuracy of which is not achievable for a single channel. The synthesis, correction, analysis and structural identification of these systems are considered in the paper.

Index terms: control system, precision accuracy, structure, nonlinear elements, electromechanical servo system.

В последние годы бурное развитие получили лазеры, которые нашли свое применение во многих отраслях. Для практического решения необходимо решить ряд технологических и научно-технических проблем, одной из которых является создание быстродействующих и высокоточных систем наведения. Без решения этой проблемы один из главных параметров лазеров, их чрезвычайно узкие диаграммы направленности использовать на практике практически невозможно. Связанно это с тем, что требуются лазерные приборы с более массивными отклоняющими зеркалами. С ростом габаритов зеркал создание быстродействующих и высокоточных систем наведения становится серьезной инженерной задачей. Несмотря на прогресс в развитии такого рода техники, целый ряд специфических вопросов, связанных с расчетом, и исследований таких систем требуют освещения.

Целью работы является исследование динамики прецизионных электромеханических следящих систем, которое включает в себя сравне-

ние методов повышения качества управления, синтез системы в соответствии с выбранным методом и техническим заданием, анализ влияния нелинейностей на систему и их идентификация от точки включения в схеме точного контура.

Проведены тщательные модельные исследования влияния различных нелинейностей (нечувствительность, ограничение, нечувствительность с насыщением, люфт, упор и др.) и их комбинаций при заданной линейной части системы на логарифмические частотные характеристики при включении нелинейностей в различные точки разомкнутой системы. На основе проведенных исследований разработаны алгоритмы идентификации как при наличии одного нелинейного элемента, так и при наличии соединения двух нелинейностей. В дальнейшем алгоритмы будут доведены до программной реализации в среде MATLAB, что позволит разработать методический материал по исследованию нелинейных прецизионных итерационных электромеханических следящих систем.

Библиографический список

1. Автоматические системы и устройства наведения лазерных пучков / А. А. Афонин, В. Н. Никитин, Н. В. Никитин и др. М.: Физматлит, 2015.
2. Теория автоматического управления: учебник для 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.: Высшая школа, 1986.
3. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1975.

References

1. Avtomaticheskie sistemy i ustrojstva navedeniya lazernykh puchkov / A. A. Afonin, V. N. Nikitin, N. V. Nikitin i dr. M.: Fizmatlit, 2015.
2. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya: Ucheb. dlya vuzov po specz. «Avtomatika i telemexanika». V 2-x ch. Ch. II. Teoriya nelineynykh i special'nykh sistem avtomaticheskogo upravleniya. / A. A. Voronov, D. P. Kim, V. M. Loxin i dr.; Pod red. A. A. Voronova. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Vyssh. shk., 1986.
2. Besekerskiy V. A., Popov E. P. Teoriya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya. M.: Nauka, 1975.

УДК 53, 519.6, 536.3, 536.21, 666.1.05: 621.373.826, 378.14, 372.853, 314.748

И. Ф. Лебедин^{1,2}, А. А. Молотков³, О. Н. Третьякова³, e-mail: tretiyakova_olga@mail.ru
(¹ ЗАО НИИ «ЭСТО», Москва, Россия;

² ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва, Россия;

³ ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

Аннотация. Разработана методика экспериментального исследования, предложена модель и проведено численное моделирование процесса послойного лазерного сплавления для создания промышленного лазерного технологического оборудования.

Ключевые слова: процесс послойного лазерного сплавления, моделирование, лазер, теплообмен.

I. F. Lebedkin^{1,2}, A. A. Molotkov³, O. N. Tretiyakova³
(¹ JSC Research Institute «ESTO», Moscow, Russia;

² FSBEI HE «MIREA – Russian Technological University», Moscow, Russia;

³ Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDIES IN THE DEVELOPMENT OF A LASER PROCESS UNIT FOR 3D-PRINTING

Abstract. A technique for experimental research has been developed, a model has been proposed, and numerical modeling of selective laser melting has been performed to create industrial laser processing equipment.

Index terms: selective laser melting process, modeling, laser, heat transfer.

Для создания промышленного лазерного технологического оборудования для 3D-печати в сотрудничестве с предприятием ЗАО НИИ «ЭСТО» авторами разработана методика экспериментального исследования, предложена модель и проведено численное моделирование положенного в основу данной технологии процесса послойного лазерного сплавления. В работах [1, 2] для простейшей модели теплообмена в исследуемом процессе решение проводилось методом

конечных элементов с использованием пакета прикладных программ AnsysWorkbench 18.2. Было получено хорошее соответствие с результатами работ [3, 4], однако модель не учитывала многих физических факторов, влияющих на результат процесса. На следующем этапе исследования авторами предложено в качестве математической модели сложного теплообмена в процессе послойного лазерного сплавления использовать трехмерную дифференциальную краевую

задачу теплопроводности с учетом кондуктивного и радиационного переноса тепла в задаче о нагреве металлического порошка подвижным унимодальным гауссовым пучком лазерного излучения с учетом фазовых переходов в материале (плавление и отвердевание). Уравнение теплопроводности решалось двумя способами: 1) с применением явной конечноразностной схемы; 2) с помощью метода дробных шагов Яненко [5]. Проанализированы результаты всех трех подходов к моделированию процесса.

Библиографический список

1. Лебедкин И. Ф., Молотков А. А., Третьякова О. Н. Математическое моделирование тепловых процессов для разработки лазерных SLM технологий [Электронный ресурс] // Российская науч.-техн. конф. с междунар. участием «Оптические технологии, материалы и системы» ОПТОТЕХ – 2017. Москва, 14–15 декабря 2017 г.: сб. докл. конф. Физико-технологического института Московского технологического университета. М., 2017. С. 61 – 67.
2. Лебедкин И. Ф., Молотков А. А., Третьякова О. Н. О возможности математического моделирования и методике экспериментального исследования SLM процессов для разработки нового лазерного технологического оборудования / матер. XII Междунар. конф. «Прикладная математика и механика в аэрокосмической отрасли» (NPNJ'2018), Алушта, 24 – 31 мая 2018. М.: Изд-во МАИ, 2018.
3. Gusarov A. V., Yadroitsev I., Bertrand Ph., Smurov I. Model of Radiation and Heat Transfer in Lazer-Powder Interaction Zone at Selective Lazer Melting // Journal of Heat Transfer. July 2009. V. 131. 072101-1-9.

4. Dayal Ram. Numerical Modelling of Processes Governing Selective Laser Sintering. Technische Universität, Darmstadt [Ph.D. Thesis] (2014).

5. Яненко Н. Н. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики. Новосибирск: Наука, 1967. 196 с.

References

1. Lebyodkin I. F., Molotkov A. A., Tretiakova O. N. Matematicheskoe modelirovanie teplovykh processov dlya razrabotki lazernykh SLM tekhnologij [Elektronnyj resurs] // Rossijskaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem «Opticheskie tekhnologii, materialy i sistemy» OPTOTEKH – 2017, Moskva, 14–15 dekabrya 2017 g: Sbornik dokladov konferencii Fiziko-tekhnologicheskogo instituta Moskovskogo tekhnologicheskogo universiteta. M., 2017. P. 61 – 67.
2. Lebyodkin I. F., Molotkov A. A., Tretiakova O. N. O vozmozhnosti matematicheskogo modelirovaniya i metodike ehksperimental'nogo issledovaniya SLM processov dlya razrabotki novogo lazernogo tekhnologicheskogo oborudovaniya / Materialy XII Mezhd. Konf. «Prikladnaya amatematika i mekhanika v aehrokosmicheskoy otrasli» (NPNJ'2018), g. Alushta, 24 – 31 maya 2018. M.: Izd-vo MAI, 2018.
3. Gusarov A. V., Yadroitsev I., Bertrand Ph., Smurov I. Model of Radiation and Heat Transfer in Lazer-Powder Interaction Zone at Selective Lazer Melting // Journal of Heat Transfer. July 2009. V. 131. 072101-1-9.
4. Dayal Ram. Numerical Modelling of Processes Governing Selective Laser Sintering. Technische Universität, Darmstadt [Ph.D. Thesis] (2014).
5. Yanenko N. N. Metod drobnnykh shagov resheniya mnogomernykh zadach matematicheskoy fiziki. Novosibirsk: Nauka, 1967. 196 p.

УДК 681.2.083

О. В. Хомутская (ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)», Москва, Россия, e-mail: ovk@mai.ru)

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ ВО ВРЕМЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Аннотация. Доклад посвящен анализу процесса деформации и созданию модели прогнозирования деформации печатной платы во время ее изготовления. Предложенная модель учитывает новые факторы, а для ее настройки разработана новая методика оценки деформации печатной платы на различных этапах технологического процесса изготовления.

Ключевые слова: печатная плата, деформация, оценка деформации, прогнозирование деформации, технологический процесс производства.

O. V. Khomutskaya (Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

PREDICTING MODEL OF PCB DEFORMATION DURING MANUFACTURE

Abstract. The report is devoted to the analysis of the deformation process and the creation of models for predicting deformation of the PCB during its manufacture. The proposed model takes into account new factors, as well as its settings for a new technique for estimating the deformation of a printed circuit board at various stages of the manufacturing process

Index terms: printed circuit board, deformation, evaluation of deformation, prediction of deformation, technological production process.

Одной из важных проблем в ходе производства печатных плат (ПП) на текущий момент является возникновение деформации в структуре композитного материала основания, которые могут возникнуть из-за несоответствия исходных материалов требованиям производителей ПП, воздействия высоких температур и влажности на этапе производства ПП, вследствие совершения ошибки при проектировании ПП и даже из-за длительного хранения.

Предлагается создать математическую модель деформации печатных плат с учетом топологии слоя, толщин основы и фольги базового материала, температурного коэффициента расширения, структуры материалов и анизотропности стеклоткани. Прогнозирование деформации предлагается с помощью разбиения поверхности проекта слоя МПП на элементарные квадраты, с последующим расчетом конечной формы слоя с помощью метода аффинных преобразований (использования матрицы сжатия).

Для расчета показателей деформации разработан альтернативный цифровой метод оценки величины деформации ПП, целью которого является устранение недостатков существующих методов (высокая стоимость реализации, малая

скорость определения уровня деформации платы и отсутствие полного покрытия поверхности ПП). Он подразумевает определение и оценку уровня деформации ПП без применения на нее физических воздействий и предполагает работу на реальных ПП в отличие от метода обсчета математической модели деформации ПП в САЕ-системах.

Практическое применение модели предполагает под собой замену существующего на сегодняшний день процесса вычисления масштабных коэффициентов фотошаблонов путем тестового прогона МПП с последующим ее вскрытием и измерениями линейных размеров на специализированном оборудовании.

Библиографический список

1. Можаров В. А. Математическая модель зависимости усадки стеклотекстолита от его конструктивных параметров // Тр. МАИ. 2013. № 65. С. 36 – 43.

References

1. Mozharov V. A. A mathematical model of relation between shrink of laminate and its structural parameters // Trudy MAI. 2013. № 65. P. 36 – 43.

УДК 629.7.036:621.373

М. А. Туманова, e-mail: rita93.07.93.07@gmail.com, А. Г. Щербак, e-mail: ascherbak1946@gmail.com
(Университет ИТМО, АО «Концерн «ЦНИИ «Электрон», Санкт-Петербург, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ФОРМИРОВАНИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР НА УЗЛАХ КРИОГЕННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. В работе представлены методы формирования сверхпроводящих тонкопленочных элементов различного назначения. Подобраны оптимальные режимы магнетронного напыления и конфигурирования тонких пленок ниобия методом локального лазерного испарения. Рассмотрены способы формирования многослойных структур из ниобия с диэлектрическими вставками, а также формообразование двухкомпонентных сверхпроводящих структур.

Ключевые слова: сверхпроводящие пленки, магнетронное напыление, лазерное испарение.

M. A. Tumanova, A. G. Scherbak (ITMO University, Concern CSRI «Elektropribor», Saint-Petersburg, Russia)

STUDY OF TECHNOLOGICAL METHODS AND TOOLS FOR SUPERCONDUCTING THIN FILM FORMATION ON THE UNITS OF CRYOGENIC TECHNIQUES

Abstract. Methods of superconducting thin film element formation are presented. Appropriate modes of magnetron sputtering and laser evaporation, providing configuration of elements, are selected. Formation of two-component superconducting films and multilayer structures with insulating layer is considered.

Index terms: superconducting films, magnetron sputtering, laser evaporation.

На сегодняшний день все больше проявляют интерес к криогенным навигационным приборам, что связано с набором специфических свойств сверхпроводников при температурах, близких к абсолютному нулю. Так, например, наблюдается снижение тепловых шумов, а также эффекты Мейсснера и Лондона [1]. Возникновение указанных эффектов позволяет использовать их в создании прецизионных криогирокопа и акселерометра [2]. Изготовление узлов чувствительных элементов этих приборов предполагает необходимость формирования тонкопленочных функциональных структур различного назначения. Так, например, требуется напыление и конфигурирование сверхпроводящих электродов подвеса и измерительных витков СКВИД-магнитометров на плоских и сферических поверхностях, а также формирование многослойных пленок, содержащих сверхпроводящие и изолирующие материалы. Целью работы является исследование и разработка комплексных технологических методов и средств, обеспечивающих формирование тонкопленочных функцио-

нальных структур на узлах чувствительных элементов криогенного гироскопа и акселерометра.

В качестве материала сверхпроводника используется ниобий, формирование тонких пленок которого осуществлялось методом магнетронного распыления ниобиевой мишени. В ходе работы определены оптимальные режимы напыления ниобиевых покрытий, обеспечивающих сверхпроводящие свойства при температурах жидкого гелия. При этом установлена зависимость между варьируемым параметром процесса (время напыления) и геометрическими характеристиками получаемых покрытий. Для формирования требуемой формы тонкопленочных структур предложено использовать локальное лазерное испарение напыленного покрытия с поверхности корундовой керамики. Конфигурирование осуществлялось с использованием системы прецизионной лазерной маркировки «Минимаркер» [3].

В рамках работы рассмотрены варианты формообразования многослойных пленок «ниобий–изолирующий материал–ниобий»: напыле-

ние диэлектрического материала и локальное лазерное окисление металла с образованием изолирующего оксида [3]. Перспективным является исследование сверхпроводящих материалов на основе ниобия, таких как карбиды и нитриды, имеющих температуру перехода в сверхпроводящее состояние выше, чем у ниобия, что позволит улучшить условия работы и повысить надежность приборов. Исследования двухкомпонентных сверхпроводников на основе ниобия, а именно карбидов и нитридов ниобия, позволили оценить вероятность их формирования в заданных условиях на основе термодинамического анализа гетерофазных взаимодействий. Разработаны схемы фиксации сферических узлов чувствительных элементов при напылении тонкопленочных покрытий и средства технологического обеспечения процесса напыления на их основе.

Результаты исследований позволяют расширить технологические возможности процесса формирования тонкопленочных сверхпроводящих покрытий при изготовлении узлов криогенного гироскопа и акселерометра.

Библиографический список

1. **Laurent-Patrick Levy.** Magnetism and Superconductivity // Springer-Verlag. Berlin, 2000.
2. **Результаты** разработки конструкции и технологии изготовления элементов криогироскопа / С. Л. Левин, В. А. Машичев, В. В. Святый и др. // Матер. XXX конф. памяти Н. Н. Острякова, ГНЦ РФ, АО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор». СПб., 2016.
3. **Юльметова О. С., Туманова М. А.** Особенности технологии формирования поверхностных ниобиевых структур при изготовлении изделий криогенной техники.

References

1. **Laurent-Patrick Levy.** Magnetism and Superconductivity // Springer-Verlag. Berlin, 2000.
2. **Results** of design development and manufacturing technology of cryogiroscope elements / S. L. Levin, V. A. Mashichev, V. V. Svyatyj et al. // Materials of the XXX Conference in memory of N. N. Ostryakova, SRC RF, AO «Koncern «CNI «EHlektropribor». SPb., 2016.
3. **Yul'metova O. S., Tumanova M. A.** Features of the technology of surface niobium structures formation in the manufacture of cryogenic equipment.

УДК 531.01

Д. А. Лебедев (НИИ механики МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия, e-mail: lebedevda@gmail.com)

УРАВНЕНИЯ ФИЛЬТРА КАЛМАНА ДЛЯ СИСТЕМ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Аннотация. Получены уравнения фильтра Калмана для матричных систем второго порядка. Рассмотрены преимущества данного метода при решении задач оценивания.

Ключевые слова: системы второго порядка, фильтр Калмана, наблюдаемость.

D. A. Lebedev (Institute of Mechanics Lomonosov MSU, Moscow, Russia)

THE EQUATION OF THE KALMAN FILTER FOR THE SYSTEMS OF THE SECOND ORDER

Abstract. In this work the equation of the filter of Kalman for the matrix systems of second order are received. Advantage of this method at the solution of problems of estimation are discussed.

Index terms: second order system, Kalman filter, observability.

Многие механические, аэродинамические и космические системы описываются линейными матричными дифференциальными уравнениями второго порядка, которые обычно имеют вид:

$$W\ddot{x} + V\dot{x} + Kx = Bu, \quad x(0) = x_0, \quad \dot{x}(0) = \dot{x}_1,$$

где W – симметрическая положительно определенная матрица; K – положительно полуопределенная матрица; Bu – вектор силы. Часто доступными для измерения являются величины:

$$z = N_1x + N_2\dot{x}.$$

Переход к системе уравнений первого порядка может приводить к изменению структуры уравнений, утрату таких свойств матриц, как симметрия, знакоопределенность, разреженность и т.д. На практике на объект и на измерения могут воздействовать шумы. Таким образом, получаем стохастическую модель второго порядка

$$W\ddot{x} + V\dot{x} + Kx = Bu + Gq; \quad (1)$$

$$z_1 = N_1x + v; \quad z_2 = N_2\dot{x} + \dot{v}, \quad (2)$$

где $q, v, \dot{v}$ – гауссовы процессы типа белого шума с нулевыми средними и известными ковариациями, не коррелированные между собой.

Получена оценка состояния системы (1) с помощью измерений (2) путем построения фильтра Калмана. При решении задачи оценивания предполагалось, что $B = 0$, существует W^{-1} , ковариационные матрицы процессов $q(t), v(t), \dot{v}(t)$ удовлетворяют соответственно условиям $Q(t) = Q^t(t) \geq 0$, $R_1(t) = R_1^t(t) > 0$, $R_2(t) = R_2^t(t) > 0$, считается известной априорная информация:

$$\begin{aligned} \tilde{x}_0 &= M[x_0], \quad \tilde{x}_1 = M[x_1], \\ P_0 &= M[x_0 - M[x_0], x_0 - M[x_0]], \\ S_0 &= M[x_0 - M[x_0], x_1 - M[x_1]], \\ U_0 &= M[x_1 - M[x_1], x_1 - M[x_1]]. \end{aligned}$$

Был выписан алгоритм оценивания и найдена несмещенная и ортогональная оценка в виде [1]

$$\hat{\tilde{y}} = H_1\tilde{y} + H_2z,$$

$$y = (x, \dot{x})^t, \quad H_1 = L^{-1}M - H_2N, \quad H_2 = PN^tR^{-1}.$$

Получено уравнение фильтра Калмана

$$W\ddot{\tilde{x}} + V\dot{\tilde{x}} + K\tilde{x} = W(N_1S + N_2U)^t R^{-1}(z - N\tilde{y}).$$

Субматрицы E, S, U можно найти, решив систему из трех матричных уравнений Риккати:

$$\begin{aligned} \dot{E} &= S^t + S - EN_1^t R_2^{-1} N_1 E - SN_2^t R_1^{-1} N_2 S^t; \\ \dot{S}W^t &= UW^t - EK^t - SV^t - \\ &\quad - (EN_1^t R_2^{-1} N_1 S + SN_2^t R_1^{-1} N_2 U)W^t; \\ W\dot{U}W^t &= (-KS - UV)W^t - WS^t K^t - WUV^t - \\ &\quad - W(S^t N_1^t R_2^{-1} N_1 S + UN_2^t R_1^{-1} N_2 U)W^t + GQG^t. \end{aligned}$$

Библиографический список

1. Александров В. В., Болтынский В. Г., Лемак С. С. Оптимизация динамики управляемых систем. М.: МГУ, 2000. 304 с.

References

1. Alexandrov V. V., Boltyansky V. G., Lemak S. S. Optimization of dynamics of control systems, M.: Moscow State University, 2000. 304 p.

УДК 681.5.01

О. М. Державин, e-mail: derzhavinom@mpei.ru, П. Д. Василькова
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА ДОМИНИРУЮЩИХ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ МЕТОДА СКОЛЬЗЯЩЕГО ДЕТЕРМИНАНТА

Аннотация. Исследуется влияние характера доминирующих собственных значений сингулярно возмущенной модели динамической системы на точность метода скользящего детерминанта.

Ключевые слова: сингулярно возмущенная модель, скользящий детерминант.

O. M. Derzhavin, P. D. Vasilkova (National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow, Russia)

THE INFLUENCE OF TYPES OF THE DOMINATING EIGENVALUES SINGULARLY PERTURBED MODEL OF DYNAMIC SYSTEM ON THE ACCURACY OF THE MOVING DETERMINANT METHOD

Abstract. In the article is investigated the influence of types of the dominating eigenvalues singularly perturbed model of dynamic system on the accuracy of the moving determinant method.

Index terms: singularly perturbed model, the moving determinant method.

В докладе рассматривается метод скользящего детерминанта, позволяющий решить вопрос о принадлежности динамической модели к классу сингулярно возмущенных. Условием принадлежности модели системы к данному классу является наличие у характеристического уравнения системы доминирующих корней, т.е. значительно удаленных по своей величине от других корней.

В докладе показывается, что на точность метода скользящего детерминанта существенное влияние оказывает характер доминирующих корней. В [1] были приведены результаты исследования скользящего детерминанта при условии простого вещественного доминирующего корня. В настоящей работе были исследованы случаи, когда доминирующими являются пара комплексно-сопряженных корней или пара кратных вещественных корней. В этих случаях появляется возможность понижения размерности исходной модели не на один, а на два порядка. При этом нельзя непосредственно воспользоваться методикой, разработанной для простого вещественного корня. Были получены аналитические описания функции скользящего детерминанта и

рассмотрены различные способы оценки точности метода. В случае парных кратных доминирующих корней было установлено, что существенное влияние на точность метода оказывает не абсолютное значение корней, а величина доминантности корней, в отличие от случая комплексно-сопряженных доминирующих корней, где на точность метода также влияние оказывает соотношение вещественной и мнимой составляющих доминирующих корней. Было установлено, что соотношение вещественной и мнимой составляющих доминирующего корня в случае комплексно-сопряженных доминирующих корней определяет вид функции скользящего детерминанта, в связи с этим предложено два типа оценки точности метода. Также разработаны два метода оценки пограничного слоя – величины начального временного интервала, за пределами которого справедлива упрощенная модель системы. Первый из них основывается на аппроксимации функции скользящего детерминанта, а другой – на определении интервала его затухания с заданной точностью. В докладе приводятся количественные значения оценок точности в изложенных выше случаях.

Библиографический список

1. Державин О. М., Василькова П. Д. Исследование способов формирования скользящего детерминанта в задаче построения упрощенной модели динамической системы // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сб. тр. XXVI Междунар. науч.-техн. конф. 2017. С. 50.

References

1. Derzhavin O. M., Vasilkova P. D. Investigation of ways of forming a moving determinant in the problem of constructing a simplified model of a dynamical system // Modern technologies in control, automation and information processing problems: Proceedings of the XXVI International Scientific and Technical Conference. 2017. P. 50.

УДК 517.935

О. М. Державин, e-mail: derzhavinom@mpei.ru, Е. Ю. Сидорова, С. С. Желтов
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОТЕМПОВЫХ СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С НЕЯВНЫМ ПРЕДСТАВЛЕНИЕМ ВОЗМУЩЕНИЯ

Аннотация. В работе рассматриваются методы упрощения сингулярно возмущенных моделей динамических систем без вхождения в них возмущения в явном виде.

Ключевые слова: сингулярное возмущение, сингулярно возмущенная модель, вырожденная модель.

O. M. Derzhavin, E. Yu. Sidorova, S. S. Zheltov
(National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

THE SPECIFICS OF THE CONSTRUCTION OF MULTI-TIMESCALE SINGULARLY PERTURBED DYNAMIC MODELS WITH AN IMPLICIT REPRESENTATION OF THE PERTURBATION

Abstract. The methods of simplification of singularly perturbed dynamic systems models without an explicit occurrence of the perturbation are considered in this paper.

Index terms: singular perturbation, singularly perturbed model, reduced model.

Сингулярно возмущенные модели динамических систем представляют для исследователей большой интерес ввиду возможности при выполнении определенных условий их упрощения путем понижения порядка. Наиболее развитой является теория моделей, в которых сингулярное возмущение представлено явно в виде малого параметра при производных системы дифференциальных уравнений в нормальной форме Коши. В работе [1] разработана методика построения упрощенных многотемповых сингулярно возмущенных моделей данного типа на основе теоремы о предельном переходе А. Н. Тихонова [2].

В настоящей работе рассматривается задача построения многотемповых моделей, представленных в нормальной форме Коши и не имеющих в явном виде формализованного признака,

определяющего их принадлежность классу сингулярно возмущенных. В отличие от тихоновской, в данной задаче возникают две принципиальные проблемы – установления их принадлежности указанному классу динамических систем и разработки алгоритма построения вырожденной модели. В работе предлагается исходная постановка их решения, включающая формализованное описание класса сингулярно возмущенных моделей с представлением возмущения в неявном виде. На ее основе первая из указанных проблем решается путем построения совокупности линеаризованных моделей с определением их соответствия классу сингулярно возмущенных, что может быть установлено на основе собственных значений системных матриц [3]. Задачу построения вырожденной (упрощенной)

модели предлагается решать методом перебора гипотез о ее возможной структуре на основе исходной системы уравнений. Рассмотрено два подхода к формированию гипотез. Первый из них основывается на результатах анализа распределения собственных значений системных матриц совокупности линеаризованных моделей. Второй подход исходит из сравнительного анализа длительности свободных процессов переменных исходной модели. В докладе приводятся результаты построения разнотемповых упрощенных моделей электрической части энергоблока СГ2-500-4У2, исходно описываемого моделью 12-го порядка.

Библиографический список

1. Derzhavin O., Zhelbakov I., Sidorova E., Grout V. On the question of decomposition of multi-timescale systems dynamic models // Proceedings of the Seventh International Conference on Internet Technologies and Applications (ITA 17), Tuesday 12th – Friday 15th September 2017, Wrexham Glyndŵr University, Wales, UK. 2017. P. 165 – 168.

2. Тихонов А. Н. Системы дифференциальных уравнений, содержащие малые параметры при производных // Матем. сборник. 1952. Т. 31(73). № 3. С. 575 – 586.

3. Державин О. М., Сидорова Е. Ю. О сингулярно возмущенных моделях динамических систем с представлением возмущения в неявном виде // Вестник МЭИ. 2013. № 5. С. 150 – 155.

References

1. Derzhavin O., Zhelbakov I., Sidorova E., Grout V. On the question of decomposition of multi-timescale systems dynamic models // Proceedings of the Seventh International Conference on Internet Technologies and Applications (ITA 17), Tuesday 12th – Friday 15th September 2017, Wrexham Glyndŵr University, Wales, UK. 2017. P. 165 – 168.

2. Tikhonov A. N. Systems of differential equations containing a small parameters in the derivatives // Mat. Sbornik. 1952. V. 31(73), № 3. P. 575 – 586.

3. Derzhavin O. M., Sidorova E. Yu. On the singularly perturbed models of dynamical systems with the implicit representation of the perturbation // MPEI Vestnik. 2013. № 5. P. 150 – 155.

УДК 621.311:620.91

И. В. Жандарский, e-mail: ilyazhandarskiy@mail.ru, В. А. Шихин
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РАСЧЕТА АВТОНОМНОСТИ БЕСПИЛОТНОГО НАДВОДНОГО СУДНА

Аннотация. Исследуются алгоритмы расчета автономности для системы управления гибридным электроснабжением беспилотного надводного судна с учетом перечня режимов работ, входных и выходных параметров.

Ключевые слова: система управления, расчет автономности, беспилотное судно.

I. V. Zhandarskiy, V. A. Shikhin (National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR CALCULATING THE AUTONOMY OF AN UNMANNED SURFACE VESSEL

Abstract. Algorithms for calculating autonomy for a hybrid power supply control system for an unmanned surface vessel are considered, taking into account the list of operating modes, input and output parameters.

Index terms: control system, calculation autonomy, unmanned vessel.

При разработке алгоритмов для поддержки расчетов автономности беспилотного надводного судна (БПНС) на базе солнечной генерации

важным этапом является выявление технических характеристик и особенностей энергооборудования, а именно: выработка электроэнергии гене-

ратором или солнечными панелями в зависимости от года эксплуатации [1], потери на инверторах и контроллерах заряда, зависимость потребления от нагрузки на систему в целом и т.д. Данных параметров будет достаточно для определения автономности БПНС в случае линейного функционирования на всем протяжении времени. Для проведения точных расчетов требуется учитывать перечень режимов работы объекта. Спрогнозировать тот или иной режим БПНС достаточно сложно, но опираясь на статистические данные, извлеченные из логов системы, можно получить значения, более приближенные к реальным. Выработка электроэнергии с солнечных панелей является главным аспектом автономности судна и напрямую связана со временем суток и погодными условиями [2]. В данном случае также требуется прогнозирование или интеграция с метеорологическими ресурсами.

По итогам исследования были разработаны алгоритмы, упакованные в программное обеспечение в виде графического приложения для поддержки расчетов автономности БПНС. В рамках рассматриваемого проекта – судна на базе солнечных панелей, курсирующего в районе острова

Хайнань, Китай, определены и учтены все особенности технического оборудования и территории эксплуатации. Анализ автономности БПНС показал значения, при которых объект становится полностью автономным, т.е. выработки электроэнергии с солнечных панелей достаточно для функционирования всей системы. Так же определено время автономного плавания при пиковых нагрузках.

Библиографический список

1. Ковальчук А. А., Попов Н. М. Анализ работы солнечных батарей // Сб. ст. 68-й Междунар. науч.-практ. конф. В 3-х т. 2017. № 1. С. 218 – 222.
2. Виссарионов В. И., Дерюгина Г. В., Кузнецова В. А. Солнечная энергетика // Издательский Дом МЭИ. 2008. С. 13 – 15.

References

1. Koval'chuk A. A., Popov N. M. Analysis of solar cells // Collection of articles of the 68th International Scientific and Practical Conference in three volumes. 2017. № 1. P. 218 – 222.
2. Vissarionov V. I., Deryugina G. V., Kuznetsova V. A. Solar power engineering // Izdatelskiy Dom MEI. 2008. P. 13 – 15.

Е. А. Дегилевич, e-mail: DegilevichEgor@gmail.com, В. А. Кожин, e-mail: 3bhdchannel@gmail.com,
 А. Д. Суббота, e-mail: Subbota.AD@yandex.ru, И. Ю. Суриков, e-mail: ilya_curi@mail.ru,
 Д. А. Тархов, e-mail: dtarkhov@gmail.com, В. А. Терешин, e-mail: terva@mail.ru
 (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия)

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО И ПОЛУЭМПИРИЧЕСКОГО МЕТОДА НА ЗАДАЧЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ПЕРЕВЕРНУТОГО МАЯТНИКА

Аннотация. Рассмотрено сравнительное тестирование методов управления динамическими системами на примере решения задачи приведения маятника в неустойчивое положение равновесия за минимальное время в условиях ограниченного управления. Приведено сравнение метода, основанного на нейросетевом подходе, и метода, использующего авторские модификации алгоритма построения приближенных решений нелинейной системы.

Ключевые слова: обратный маятник, стабилизация, закон управления, метод Эйлера, принцип максимума Понтрягина.

E. A. Degilevich, V. A. Kozhin, A. D. Subbota, I. Y. Surikov, D. A. Tarkhov, V. A. Teryoshin
 (Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia)

COMPARATIVE TESTING OF THE NEURAL NETWORK AND SEMI-EMPIRICAL METHOD ON THE STABILIZATION PROBLEM OF INVERTED PENDULUM

Abstract. The article is devoted to comparative testing of control methods for dynamical systems by the example of solving the problem of bringing the pendulum into an unstable equilibrium position in a minimum time in conditions of limited control. A method based on a neural network approach and a method using authorial modifications of the algorithm for constructing approximate solutions of a nonlinear system are compared.

Keywords: inverted pendulum, stabilization, control law, Euler method, the Pontryagin maximum principle.

Исследование управления перевернутым маятником является хорошей иллюстрацией возможностей различных алгоритмов стабилизировать движение нелинейных систем около положения неустойчивого равновесия [1, 2]. Особый интерес представляет стабилизация движения маятника около вертикальной точки при значительных начальных отклонениях.

Рассмотрим модельное уравнение маятника в виде

$$\ddot{\varphi} = \sin \varphi + u, \quad (1)$$

где φ – угол отклонения маятника от вертикали; u – момент прикладываемой силы. Задача состоит в выборе такого управления u , чтобы $\varphi, \dot{\varphi} \xrightarrow{t \rightarrow +\infty} 0$. В силу принципа максимума

Понтрягина оптимальное по времени ограниченное управление состоит из участков, на которых управление максимально по амплитуде.

Сравним четыре подхода для дискретного управления такой системой.

При одношаговом подходе выбираем знак управления на интервале Δt исходя из минимума расстояния до начала координат на фазовой плоскости в конце указанного временного интервала. Далее выбор знака управления повторяется. Вычислительные эксперименты показали, что этот метод работает медленно при любом выборе Δt .

Следующие три подхода – двухшаговые, т.е. подбираются два последовательных интервала времени, на которых управление имеет различные знаки. Первый основан на точном решении. Делается два шага с управлением чередующихся знаков и случайной длительности, мы выбирали число повторений 10 000. Выбираем вариант управления, исходя из минимума расстояния до начала координат в конце временного интервала из указанных двух шагов. Второй заключается в повторении для различных начальных точек процедуры предыду-

щего подхода с управлениями разных знаков и обучении шести радиально-базисных нейронных сетей – по три для каждого набора знаков управления (для длин оптимальных интервалов времени и для минимума расстояния до начала координат в конце временного интервала). Выбор знака управления и времени определяется исходя из выходов соответствующих сетей. При третьем для поиска времени для управления каждого знака мы применяем нашу модификацию [3] одношагового неявного метода Эйлера. При этом пара временных интервалов с управлениями разных знаков подбирается так, чтобы приближенное решение заканчивалось в начале координат.

Вычислительные эксперименты показали, что решение, полученное с помощью нейронной сети и неявного метода Эйлера, не хуже точного решения в смысле времени приведения в окрестность целевой точки (неустойчивого положения

равновесия). Для управления в окрестности начала координат нужна отдельно обученная сеть.

Настоящий документ основан на исследованиях, проведенных при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 18-19-00474).

Библиографический список

1. **Witchupong Wiboonjaroen, Sarawut Sujitjorn.** Stabilization of an Inverted Pendulum System via State-PI Feedback. International of mathematical models and methods in applied sciences. Ratchamangkala University of Technology Isarn and Suranaree University of Technology, Thailand. 2011. Is. 4, V. 5. P. 763 – 772.
2. **Katsuhisa Furuta, Masaki Yamakita, Seiichi Kobayashi.** Swing Up Control of Inverted Pendulum. CH2976-9/91/0000-2193 \$1.00 0 1991 IEEE. P. 2195 – 2198.
3. **Lazovskaya T., Tarkhov D.** Multilayer neural network models based on grid methods, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 158 (2016). URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/158/1/01206>

УДК 517.951

Д. А. Тархов, О. Д. Боровская, e-mail: borovskayaod44@mail.ru, Ю. С. Седова
(Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ПРИБЛИЖЕННОГО НЕЙРОСЕТЕВОГО РЕШЕНИЯ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ И ЕГО ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЕРЕГЕНЕРАЦИИ ТОЧЕК

Аннотация. Приведено сравнение приближенных решений, получаемых для различных комбинаций параметров (количества нейронов и точек, в которых вычисляется оператор; доли регенерируемых точек), построенные нейросетевым методом. Рассмотрен метод на примере задачи для уравнений Лапласа в единичном квадрате.

Ключевые слова: нейросетевая модель, уравнение Лапласа, краевая задача.

D. A. Tarkhov, O. D. Borovskaya, Yu. S. Sedova (Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia)

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ACCURACY OF THE APPROXIMATE SOLUTION OF THE BOUNDARY-VALUE PROBLEM AND ITS DEPENDENCE ON NON-GENERATION OF POINTS

Abstract. In this paper, we compared the approximate solutions obtained for various combinations of parameters (the number of neurons and points at which the operator is calculated, the parts of the regenerated points) constructed by the neural network method. The method was considered for the problem for the Laplace equations in the unit square.

Index terms: neural network model, Laplace equation, boundary-value problem.

Многие задачи, исследующие реальные объекты, могут быть решены с помощью построения математической модели. Однако сложность объекта моделирования ведет к недостаточной точности модели. Также стоит учитывать возможное изменение свойств исследуемого объекта в процессе его работы.

Описанные требования к построению модели удовлетворяются с помощью нейросетевого подхода, так как он дает возможность уточнять модель по данным наблюдения за объектом и наиболее устойчив к погрешностям в параметрах.

В отличие от работы [1], исследовалось влияние не только изменения числа нейронов

1. Оценка качества нейросетевой модели для $n = 30$, $M = 100$, $M_1 = 10$

	$d_t = 0$		$d_t = 0,5$		$d_t = 1$	
	$10^{-4} J_1$	$\frac{10^{-4} J_2}{4}$	$10^{-4} J_1$	$\frac{10^{-4} J_2}{4}$	$10^{-4} J_1$	$\frac{10^{-4} J_2}{4}$
Минимум	0,07566	0,04119	0,04805	0,04372	0,11968	0,03277
Среднее	0,1196	0,04742	0,12726	0,04568	23,4905	0,04178
Дисперсия	0,00106	1,5E-05	0,00235	3,2E-06	5258,96	3E-05

в сети и количества точек, в которых вычисляется оператор, но и влияние регенерации. Взаимосвязь регенерации и устойчивости решения демонстрируется в работах [2, 3]. Данная работа показывает это влияние на примере задачи для уравнений Лапласа в единичном квадрате.

Были проведены две серии экспериментов: для 30 и 100 нейронов.

В таблице 1 приведены результаты одной из серий экспериментов, которые демонстрируют зависимость точности решения от доли регенерации. Наиболее результативной применительно к данному функционалу является частич-

ная регенерация точек: для всех проведенных экспериментов именно в ее случае были получены наименьшие значения погрешностей.

Библиографический список

1. Lagaris I. E., Likas A. Artificial Neural Networks for Solving Ordinary and Partial Differential Equations // Transactions on Neural Networks. 1998. V. 9, № 5. P. 987 – 1000.
2. Tarkhov D. A., Vasilyev A. N. New neural network technique to the numerical solution of mathematical physics problems. I: Simple problems // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics), Allerton Press, Inc. 2005. V. 14, № 1. P. 59 – 72.
3. Lazovskaya T. V., Tarkhov D. A., Vasilyev A. N. Parametric Neural Network Modeling in Engineering, Recent Patents on Engineering. 2017. V. 11, № 1. P. 10 – 15.

УДК 004.032.26

И. Н. Дзюбенко, магистр каф. безопасности информационных систем (Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: i.n.dzyubenko@gmail.com)

МОДИФИКАЦИЯ ВЫБОРКИ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ПРИМЕРЕ ПЕЧАТНЫХ СИМВОЛОВ

Аннотация. Рассмотрен метод улучшения выборки для обучения нейронной сети для распознавания печатных символов путем добавления модифицированных изображений в изначальную выборку и оценку качества различных вариантов модификации.

Ключевые слова: машинное обучение, распознавание изображений, нейронные сети, расширение данных.

I. N. Dzyubenko (State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russia)

DATA MODIFICATION FOR TRAINING A NEURAL NETWORK WITH THE EXAMPLE OF PRINTED CHARACTERS

Abstract. This paper demonstrates the method of data augmentation for training a neural network for printed characters recognition by adding modified images into original data samples, and evaluation of the quality of various modification options.

Index terms: machine learning, image recognition, neural networks, data augmentation.

Для методов распознавания образов требуется значительное количество примеров для обучения и настройки параметров. Создание

обучающей и тестовой баз изображений адекватного объема для них является нетривиальной задачей. Чем точнее обучающая выборка

аппроксимирует генеральную совокупность изображений, которые будут поступать на вход вашей системы, тем выше будет предельно достижимое качество результата [1]. Если необходимо распознавать печатные символы на фотографии, сделанной мобильным устройством, то база примеров должна содержать фотографии документов из разных источников с различным освещением, сделанные с разных моделей телефонов и камер.

Существуют различные методы создания выборки изображений для создания системы распознавания: создание обучающих примеров из естественных изображений, из искусственных изображений и создание искусственных обучающих примеров, сгенерированных на основе естественных изображений [2]. В данной работе описывается каждый метод и производится их

сравнение по качеству обученной на их основе нейронной сети.

Библиографический список

1. Саймон Хайкин. Neural networks and learning machines. 3-е изд. ISBN-13: 978-0-13-147139-9.
2. Туан Ан Ли, Атилим Гунс, Баудин, Роберт Зинков, Фрэнк Вуд. Using Synthetic Data to Train Neural Networks is Model-Based Reasoning. Оксфордский университет. Факультет инженерных наук.

References

1. Simon Haykin. Neural networks and learning machines Third Edition. ISBN-13: 978-0-13-147139-9.
2. Tuan Anh Le, Atılım Gunes, Baydin, Robert Zinkov, Frank Wood. Using Synthetic Data to Train Neural Networks is Model-Based Reasoning. Department of Engineering Science University of Oxford.

УДК 004.032.26

О. М. Проталинский, И. А. Щербатов, e-mail: shcherbatovia@mpei.ru
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАДАЧАХ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ СЛОЖНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Аннотация. Для решения задачи функциональной диагностики в сложных технических системах предложено прогнозирование возникновения дефектов и отказа оборудования с использованием последовательно соединенных нейронных сетей в виде многослойных персептронов. Исследование подхода проводили для энергетических систем.

Ключевые слова: нейронная сеть, дефект, отказ, параметр, прогнозирование, сложная техническая система, энергетика, промышленность.

O. M. Protalinskii, I. A. Shcherbatov (Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia)

APPLICATION OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES IN FUNCTIONAL DIAGNOSTICS OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

Abstract. To solve the problem of functional diagnostics in complex technical systems, it is proposed to predict the occurrence of defects and equipment failure using a series of connected neural networks in the form of multilayer perceptron. The study of the approach was carried out in the energy systems.

Index terms: neural network, defect, failure, parameter, prediction, complex technical system, energy, industry.

При исследовании сложных технических систем ключевыми проблемами являются неопределенность (входных данных и процессов), а также трудности по описанию, пониманию, оценке состояния и управлению [1]. Если суще-

ствует возможность получения статистических данных, характеризующих определенные, интересующие исследователя аспекты системы, то нейронные сети оказываются зачастую наиболее приемлемым математическим аппаратом,

в частности, для решения задач функциональной диагностики технологического оборудования сложных технических систем, например в энергетике [2].

Задача функциональной диагностики требует последовательного прохождения двух этапов – прогнозирование возможного факта возникновения дефектов (значительных и критических) на основе образа текущего технического состояния совокупности объединенных единиц оборудования, образующих сложную техническую систему.

Определение набора критических и значительных дефектов, который может возникнуть для конкретных единиц оборудования, производится на основе многослойного персептрона прямого распространения сигнала, число входов которого равно числу параметров, оказывающих влияние на возникающие дефекты, а количество нейронов выходного слоя равно числу данных дефектов. При этом число промежуточных слоев для данной нейронной сети равно двум. На вход поступают не значения параметров, а их оценки отклонения от нормального режима функционирования (0 – отклонение отсутствует, 1 – незначительное отклонение, 2 – значительное отклонение). На выходе формируется сигнал нулей

(дефект не возникнет) и единиц (дефект может возникнуть).

Набор дефектов, полученных с использованием данной сети, поступает на вход второй нейросети, которая позволяет получить вероятность отказа единицы оборудования. Прогнозирование момента времени возникновения конкретного дефекта производится на основе модифицированного метода наименьших квадратов, который используется для нахождения момента времени пересечения линии тренда изменения параметра с линией, являющейся границей перехода оценки 1 в оценку 2. Апробация данного подхода проводилась для сложных технических систем в энергетике.

Библиографический список

1. Magee C., De Weck O. L. Complex System Classification // Fourteenth Annual International Symposium of the International Council on Systems Engineering (INCOSE), Toulouse, France, June 20 – 24, 2004. P. 24 – 42.
2. Protalinsky, O. M., Shcherbatov, I. A., Stepanov, P. V. Identification of the actual state and entity availability forecasting in power engineering using neural-network technologies // Journal of Physics: Conference Series. V. 891. 2017. 012289.

Д. А. Тархов, e-mail: dtarkhov@gmail.com, М. Р. Бортковская, Т. Т. Каверзнева, Д. Р. Капицин, И. А. Шишкина,
Д. А. Семенова, П. П. Удалов (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия)

ПОЛУЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГИБА РЕАЛЬНОЙ МЕМБРАНЫ

Аннотация. Рассмотрено решение задачи о моделировании прогиба нагруженной круговой мембраны в симметричном случае. Приведено сравнение моделей, выражающих зависимость прогиба мембраны от расстояния до центра. Первая основана на аналитическом решении уравнений условий равновесия. Вторая получена с помощью оригинальной модификации уточненного метода Эйлера. Третья строится в виде выхода нейронной сети. Коэффициенты моделей подбирали по экспериментально полученным данным.

Ключевые слова: нейронные сети, уточненный метод Эйлера, круглая мембрана, исследование зависимости прогиба от радиуса.

D. A. Tarkhov, M. R. Bortkovskaya, T. T. Kaverzneva, D. R. Kapitsin, I. A. Shishkina,
D. A. Semenova, P. P. Udlov (Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia)

SEMI-EMPIRICAL MODEL OF THE DEFLECTION OF A REAL MEMBRANE

Abstract. The solution of the problem of modeling the deflection of a loaded circular membrane in the symmetric case is considered. The models that express the dependence of the deflection of the membrane from the distance to the center are compared. The first is based on the analytical solution of the equations of equilibrium conditions. The second was obtained with the help of the original modification of the refined Euler method. The third is constructed in the form of an output of a neural network. The coefficients of the models were chosen from the data obtained experimentally.

Index terms: neural networks, the refined Euler method, round membrane, the dependence of the deflection on the radius.

Рассматривается круглая мембрана радиусом R , изготовленная из ткани «оксфорд 600», на ней располагаются поочередно грузы различной массы, мембрана предполагается невесомой, груз радиусом a размещается в центре мембраны, предполагается, что растяжение изотропно. Для описания отклонения мембраны от положения равновесия используем уравнение Лапласа в полярных координатах, где искомая функция $u(r)$ не зависит от направления, а зависит только от расстояния r точки от центра мембраны. Правая часть уравнения равна нулю при $r \in (a; R]$ и B при $r \in [0; a]$, где B – величина, равная отношению веса груза к абсолютной величине, приложенной к краю мембраны растягивающей силы. Поскольку мембрана предполагается невесомой, ее вес в правой части уравнения отсутствует. Рассматриваемое уравнение является обыкновенным дифференциальным уравнением второго порядка. Для дальнейшего сравнения с приближенным решением выписываем его точное решение. В этом уравнении $u_0 = u(R)$, вообще говоря, это значение нулевое, но из технических

соображений измерения значений прогиба произведены от некоторого начального значения, его и берем в качестве u_0 . Точное решение получено с учетом непрерывности $u(r)$ при $r = a$ и ограниченности решения при $r = 0$. Выбор параметра B здесь производится с помощью метода наименьших квадратов так, чтобы минимизировать величину

$$\sum_{i=1}^{10} (u(r_i) - u_i)^2.$$

Здесь r_i – значения r , для которых проводились измерения прогиба; u_i – результаты соответствующих измерений; $u(r_i)$ – значения функции $u(r)$, найденные по формуле, полученной для точного решения.

Найдя значение B , мы будем знать и соответствующее значение $z_0 = u'(R)$. Используя полученные формулы, зная из эксперимента вес груза и определяя B , мы определяем величину растягивающей силы. Уравнение, используемое для описания отклонения мембраны от положения равновесия, приводим к нормальной системе

дифференциальных уравнений, выполняя замену переменных $x = R - r$, решаем систему нашей модификацией [1] двухшагового метода Эйлера. Значение u_0 , как и раньше, берется из эксперимента. Значение z_0 пока не определено. Решение рассматривается при $r \in (a; R]$. Затем для $r \in [0; a]$ решаем систему тем же методом, считая значение прогиба $\tilde{u}_0$ при $r = 0$ неизвестным, а значение производной u'_r при $r = 0$ нулевым. Требуя непрерывности решения u и его производной z в точке $r = a$, получаем условия, из которых находим выражения параметров $\tilde{u}_0$ и B через значение z_0 , а последнее определим с помощью метода наименьших квадратов так, чтобы минимизировать величину $\sum_{i=1}^{10} (u(r_i) - u_i)^2$. Теперь в приближенном решении будут найдены все параметры, и мы можем сравнить его с точным решением. Кроме этого, применялись методы построения нейросетевой модели по дифференциальному уравнению и экспериментальным данным, изложенные во многих наших работах, см., например, [2]. Сравнивалось точное решение и модель, полученная с помощью модификации двухшагового метода Эйлера. Значения для точного решения: $z_0 = 0,410$, $B = 456$, $T = 0,044$, для приближенного: $z_0 = 0,884$, $B = 111$, $T = 0,180$. Масса груза 2 кг, радиус груза

3 см, радиус мембраны 50 см. С использованием вышеупомянутых значений были получены приближенное и точное решения. Для решения данной задачи с помощью минимизации функционала ошибки методами [2] мы построили нейронную сеть с одним скрытым слоем и функцией активации гиперболического тангенса. Для семи значений прогиба, полученных из эксперимента, была построена нейронная сеть, во всех точках кроме третьей и шестой проводилось обучение, а оставшиеся две точки использовались для тестирования полученных данных. Были получены графики отклонения полученного решения от точного для нейронной сети с разным количеством нейронов.

Статья подготовлена на основе научных исследований, выполненных при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 18-19-00474).

Библиографический список

1. Lazovskaya T., Tarkhov D. Multilayer neural network models based on grid methods, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 158 (2016) URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/158/1/01206>.
2. Lazovskaya T. V., Tarkhov D. A., Vasilyev A. N. Parametric Neural Network Modeling in Engineering // Recent Patents on Engineering. 2017. V. 11, № 1. P. 10 – 15.

М. А. Приказчиков, О. В. Соколова (ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»,
Пенза, Россия, e-mail: atpgu@yandex.ru)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОИСКА ЭКСТРЕМУМА СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНЕРЦИОННОГО ОБЪЕКТА С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ

Аннотация. В работе описывается разработанный алгоритм экстремального управления инерционным объектом с запаздыванием, основанный на совмещении методов периодического поискового сигнала, синхронного накопления и гармонического анализа.

Ключевые слова: инерционный объект с запаздыванием, экстремальное управление, синхронное накопление, гармонический анализ.

М. А. Prikazchikov, O. V. Sokolova (Penza State University, Penza, Russia)

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS SEEKING EXSTREMUM OF INERTIAL OBJECTS STATIC CHARACTERISTICS WITH DELAY IN CONDITIONS OF INTERFERENCE

Abstract. The algorithm extreme control inertial object with delay, based on combination of methods of periodic search signal, synchronous accumulation and harmonic analysis.

Index terms: inertial object with delay, seeking exstremum control, synchronous accumulation, harmonic analysis.

В настоящее время целлюлозно-бумажная промышленность является одной из ведущих динамично развивающихся отраслей в нашей стране. Задача дальнейшего развития этой отрасли промышленности связана с повышением эффективности бумажного производства и качества готовой продукции при экономном и рациональном использовании сырьевых, топливно-энергетических и других материальных ресурсов.

Разработка системы экстремального регулирования проводилась на основе известной экстремальной зависимости неравномерности просвета бумажного полотна от соотношения скорости сетки к скорости, поступающей на нее бумажной массы. Поскольку неравномерность просвета напрямую связана с дисперсией веса бумажного полотна, а скорость бумажной массы – с ее напором, была проведена экспериментальная проверка этой экстремальной зависимости.

Экстремальное управление инерционными объектами с запаздыванием, работающими в условиях сильных помех, основанное на традиционных методах оптимальной фильтрации [1], стохастической аппроксимации [2], методах теории статистических решений и динамического программирования (дуального управления) [3]

требует определенных ограничений на характеристики объекта и действующих на него возмущений. В связи с этим на первый план выступает задача эффективного выделения полезного сигнала на фоне сильных помех, а задача экстремального управления отодвигается на второй план.

Разработан помехозащищенный алгоритм поиска экстремума инерционного объекта с запаздыванием, основанный на методе периодического поискового сигнала с фильтрацией помех путем синхронного накопления и последующего поиска максимума выделенной из выходного сигнала второй гармоники.

На основе моделирования и экспериментальной проверки на реальном объекте подтверждена эффективность предложенного алгоритма. Время переходного процесса составило примерно 2 ч. Нормы расхода волокна уменьшились на 2 %. Среднеквадратическое отклонение массы квадратного метра бумажного полотна уменьшилось в среднем на 3...4 %, а его относительный размах снизился на 20 %. На 33 % уменьшилось время, необходимое для технологической наладки бумагоделательной машины для выпуска определенного сорта бумаги.

Библиографический список

1. Растрин Л. А. Статистические методы поиска. М.: Наука, 1968. 376 с.
2. Александров А. Г. Оптимальные и адаптивные системы. М.: Высшая школа, 1989. 263 с.
3. Фельдбаум А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем. М.: Физматгиз, 1963. 552 с.
4. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. II. Производство бумаги и картона. Ч. 1. Технология производства и обработки бумаги и картона. СПб.: Политехника, 2005. 423 с.

References

1. Rastrigin L. A. Statistical methods of search. M.: Nauka, 1968. 376 p.
2. Alexandrov A. G. Optimum and adaptive systems. M.: Higher Education. Sc., 1989. 263 p.
3. Feldbaum A. A. Fundamentals of the theory of optimal automatic systems. M.: Fizmatgiz, 1963. 552 p.
4. Technology pulp and paper production: In 3 t. T. II. Production of paper and paperboard. Part 1. Technology of production and processing of paper and paperboard. SPb.: Politechnica, 2005. 423 p.

УДК 681.511.46

Д. Н. Анисимов, e-mail: anisimovdn@yandex.ru, С. М. Грязнов, Е. В. Федорова
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА

Аннотация. Доклад посвящен исследованию амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик нечеткого логического регулятора (НЛР). Эти характеристики помогают выявить взаимосвязь между настройками НЛР и его динамическими свойствами. Результаты исследований являются основой для методики синтеза нечетких систем управления.

Ключевые слова: нечеткий регулятор, частотные характеристики, система управления.

D. N. Anisimov, S. M. Gryaznov, E. V. Fyodorova
(National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

RESEARCH OF FREQUENCY CHARACTERISTICS OF FUZZY LOGIC CONTROLLER

Abstract. The report is devoted to the research of the amplitude-frequency and phase-frequency characteristics of the fuzzy logic controller (FLC). These characteristics help to identify the relationship between the FLC settings and its dynamic properties. The results of the research are the basis for the method of synthesis of fuzzy control systems.

Index terms: fuzzy controller, frequency characteristics.

Нечеткие логические регуляторы (НЛР) активно используются при построении современных систем управления. Несмотря на многочисленные примеры успешного применения НЛР, остается ряд нерешенных проблем, связанных с их настройкой. Это обусловлено слабой изученностью влияния различных факторов на динамические свойства нечеткого регулятора. К таким факторам можно отнести: выбор логического базиса (Т-норм), особенности базы правил, вид и диапазон изменения функций принадлежности, различные варианты реализации эта-

пов агрегирования, активизации, аккумуляирования, дефазификации.

Исследования, представленные в данной работе, являются частью комплексных исследований [1], направленных на выявление основных закономерностей функционирования НЛР в системе управления. В работе проводятся исследования влияния диапазона изменения функций принадлежности (ФП) термов входных (e , d) и выходной (x) лингвистических переменных (ЛП) на амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики (АЧХ и ФЧХ) нечеткого

ПД-регулятора (НПД), построенного на основе реляционных моделей [2].

Настраивая НПД путем варьирования диапазонов e_m, d_m, x_m , приходится сталкиваться с проблемой перестроения функций принадлежности. Вместе с тем легко показать, что изменение области определения какой-либо лингвистической переменной эквивалентно умножению соответствующего сигнала на некоторый коэффициент усиления. При этом для входных сигналов этот коэффициент обратно пропорционален диапазону изменения ФП, а для выходного сигнала – прямо пропорционален.

АЧХ и ФЧХ полностью описывают поведение линейного элемента в системе управления. Однако НПД является нелинейным динамическим элементом, и его частотные характеристики зависят от амплитуды входного сигнала. Кроме того, они не могут абсолютно точно характеризовать свойства НПД, поскольку определяются на основе его гармонической линеаризации, т.е. путем разложения выходного сигнала в ряд Фурье и выделения первой гармоники. Тем не менее, полученные в работе АЧХ и ФЧХ позволяют получить адекватное представление об изменении динамики НПД при варьировании

диапазонов изменения ФП (коэффициентов усиления в каналах управления) и являются основой для построения методики синтеза нечетких систем управления.

Доклад подготовлен при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-01-00054а).

Библиографический список

1. 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.
2. Анисимов Д. Н., Ситников К. Ю. Методика построения нечетких реляционных систем автоматического управления // Вестник МЭИ. 2012. № 3. С. 77 – 82.

References

1. Anisimov D. N., Maj Txe An`. Dynamic properties of fuzzy control systems based on relational models // Mechatronics, automation, control. 2017. T. 18, № 5. P. 298 – 307.
2. Anisimov D. N., Sitnikov K. Yu. The method of constructing fuzzy relational systems of automatic control // Vestnik ME'I. 2012. № 3. P. 77 – 82.

УДК 377.031.4

Р. И. Александрова, e-mail: r_aleksandrova@mirea.ru, **В. А. Казамапов, О. В. Романова**
(ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва, Россия)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ЦТПО МИРЭА

Аннотация. Рассмотрены подходы к профориентационной работе со школьниками в центре технологической поддержки образования (ЦТПО) МИРЭА, освоению программ дополнительного образования школьников «Знакомство с робототехникой» и «Управление роботами».

Ключевые слова: программы дополнительного школьного образования, язык программирования C, мехатронно-модульное оборудование, учебные роботы.

R. I. Aleksandrova, V. A. Kazamanov, O. V. Romanova
(FSBEI HE «MIREA – Russian Technological University», Moscow, Russia)

ADDITIONAL EDUCATION PROGRAMS REALIZATION LABORATORY COMPLEX USE IN ETSC MIREA

Abstract. The report considers the career guidance work with schoolchildren in the Education Technological Support Center (ETSC) MIREA approaches, schoolchildren additional education programs «Introduction to Robotics» and «Robots Control» development approaches.

Index terms: schoolchildren additional education programs, programming language C, mechatronic-modular equipment, educational robot.

В МИРЭА разработан и внедрен лабораторный комплекс на основе использования мехатронных модулей линейного и вращательного перемещений, четырех роботов РМ-01 для обучения по направлению «Мехатроника и робототехника», на базе которого проходят занятия не только со студентами, но с учащимися Московских школ по освоению программ дополнительного образования школьников «Знакомство с робототехникой» и «Управление роботами», которые реализуются в ЦТПО МИРЭА на бюджетной основе по заданию Департамента образования г. Москвы.

В докладе рассматривается подход к изучению алгоритмического языка программирования высокого уровня языка Си (программа «Управление роботами»), где основной целью ставится получение школьниками навыков практической работы на ПЭВМ. Методически обучение отражает принцип «от простого к сложному» и начинается с практического освоения вычислительных операций и заканчивается работой с консолью. Результатом выполнения первой

части работ является овладение школьниками основ языка Си: его библиотечными функциями, структурами данных, способами обработки введенных данных, методами отладки программ, а также умение составлять последовательные, ветвящиеся, циклические и другие алгоритмы.

Вторая часть работ посвящена разработке программ управления мехатронно-модульным оборудованием и роботом УРТК. Здесь рассмотрен теоретический материал по устройству и принципу действия мехатронных модулей, описана их работа; дана структурная схема системы управления и блока управления роботом; описаны конструкция и принцип работы датчиков положения мехатронных модулей.

Занятия по программе строятся по принципу «каждое последующее основано на предыдущем»: на основе принципов структурного программирования, начиная от чтения байта и заканчивая реализацией движения всех степеней робота по требуемому алгоритму. Важно отме-

тить, что взаимодействие учащихся с роботом начинается на тренажере. Такой подход позволяет заинтересовать учащихся и в простой форме объяснить цели и задачи курса, а также наглядно показать, что именно будет получено в результате прохождения курса.

В итоге учащиеся могут на языке Си написать программу управления двигателем по информации от инкрементного и концевых датчиков, а после запуска робота сравнить планируемое и отработанное перемещения одной степени подвижности; для робота УРТК разработать программу ручного управления двигателем и сделать меню управления роботом, а по информации с датчиков положения вывести на экран положение степеней подвижности роботов и др.

В результате обучения по программе «Управление роботами» школьники получают, во-первых, навыки программирования на языке Си, что является основополагающим в условиях несоответствия школьного курса информатики с предлагаемым в вузах. А во-вторых, большую структурированную программу для управления роботом в ручном, цикловом и позиционном режимах: управление двигателями, контроль состояния датчиков, разработка интерфейса пользователя.

В рамках программы дополнительного образования «Знакомство с робототехникой» на ба-

зе лабораторного комплекса ребята знакомятся со строением роботов, их основными составляющими и функциями. При освоении программы 1-го уровня ребята знакомятся с управлением учебным роботом УРТК и промышленным роботом РМ-01 (для обучения школьников выделен один робот РМ-01 с соответствующим программным обеспечением) вручную, а на 2-м уровне – учатся формировать циклограммы их работы, предварительно определив индивидуальные характеристики каждого робота. Записанную на диск компьютера циклограмму ребята могут считывать и визуализировать.

Библиографический список

1. Александрова Р. И., Казаманов В. А. Комплекс оборудования научно-исследовательской лаборатории МИРЭА // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сб. тр. XXV Междунар. науч.-практ. конф., 14 – 20 сентября 2016 г., Алушта. М.: Технология, 2016, 216 с. С. 76–77.

References

1. Aleksandrova R. I., Kazamanov V. A. MIREA research laboratories equipment complex // Modern technologies in control, automation and information processing problems: XXV International Scientific and Practical Conference Proceedings, September 14 – 20, 2016, Alushta. M.: Technology, 2016. 216 p. P. 76–77.

УДК 796

Г. А. Неклюдова, канд. техн. наук, доц., e-mail: galinanekludova@yandex.ru,
Т. А. Булавкина, канд. пед. наук, доц., Е. С. Евтух, канд. техн. наук, доц.
(ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», Брянск, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕПЕРТУАРНЫХ РЕШЕТОК В ЦЕЛЯХ ИССЛЕДОВАНИЯ МОТИВАЦИИ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ У СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ

Аннотация. Рассмотрено влияние субъективного когнитивного социокультурного опыта на самореализацию личности в контексте мотивации к профессиональной деятельности у студентов технических вузов с применением метода репертуарных решеток.

Ключевые слова: студент, профессиональная компетентность, конструкт, репертуарные решетки.

G. A. Neklyudova, T. A. Bulavkina, E.S. Evtukh
(Bryansk State University Technical University, Bryansk, Russia)

APPLICATION OF THE METHOD OF REPERTOIRE LATTICES FOR THE PURPOSE OF RESEARCH OF MOTIVATION TO PROFESSIONAL ACTIVITY OF STUDENTS OF TECHNICAL UNIVERSITIES

Abstract. The influence of subjective cognitive socio-cultural experience on the self-realization of the individual in the context of motivation to professional activity of students of technical universities using the method of repertoire lattices is considered.

Index terms: student, professional competence, a construct, repertory grid.

Профессиональная состоятельность и высокий уровень профессиональной компетентности студента, как идея современной высшей школы, должна соединяться с идеей культурного становления личности за период вузовского обучения и качественного проживания личностью периода студенчества [1, 2]. Семантические конструкты студентов выступают как информационные индикаторы сформированности различных компонентов культуры. Образование в современных реалиях технических вузов – это не столько трансляция знаний и значимой информации от преподавателя к студенту, обучение неким навыкам и умениям, но и погружение в культуру, преобразование внутреннего мира человека. Формирование профессиональных навыков, сводимое только к освоению особых способов деятельности, позволяет осваивать профессию, но не всегда приобщаться к ней. Исследование некоторых сторон внутренних механизмов перехода воспитания как внешнего воздействия в воспитание, как внутреннее присвоение ценностного отношения личности возможно посредством анализа когнитивных концептов реальности, заклю-

ченных в биполярных конструктах. С этой целью была использована методика репертуарных решеток Дж. Келли. В процессе эксперимента был выполнен статистический анализ более 2000 биполярных конструктов, созданных студентами.

Семантические биполярные конструкты студентов отражают культурные и профессиональные ориентации студентов, которые претерпели существенные трансформации за последние 10 лет. В целом конструкты будущей профессиональной деятельности в структуре личности студентов представлены в меньшем объеме, нежели учебные, а у части студентов и те и другие конструкты отсутствуют вообще. В ходе анализа выяснилось, что наличие или отсутствие учебно-профессиональных конструктов напрямую коррелирует с успеваемостью и успешностью в будущей профессиональной деятельности. Эффективность воспитательного воздействия высшей школы на личностную картину мира студента незначительна. Около 70 % созданных личностью конструктов сохраняются до окончания вуза. Незначительно выражено стремление к научной работе (1...2 % студентов). Информа-

тизация образовательного пространства вуза приводит к сжатию и без того небольшого спектра воспитательных контактов педагогов и студентов для трансляции элементов профессиональной культуры. Необходимо усиление воспитательного компонента образования в высшей школе.

Библиографический список

1. Булавкина Т. А., Неклюдова Г. А. Ценностно-когнитивные предпосылки становления физической культуры личности студентов технического вуза в процессе профессионального образования // Вестник Брянского государственного технического университета. 2015. № 3(47). С. 211 – 218.
2. Булавкина Т. А., Неклюдова Г. А. Модель сенситивности к образовательному процессу студентов технических вузов // Динамические и технологи-

ческие проблемы механики конструкций и сплошных сред: материалы XXII Междунар. симпозиума имени А. Г. Горшкова (Вятчи, 15 – 19 февраля 2016 г.). М.: ООО «ТР-принт», 2016. Т. 1. С. 59 – 61.

References

1. Bulavkina T. A., Neklyudova G. A. Value-cognitive prerequisites of physical culture formation of personality of students of technical University in the process of professional education // Bulletin of Bryansk state technical University. 2015. № 3(47). P. 211 – 218.
2. Bulavkina T. A., Neklyudova G. A. Model of sensitivity to the educational process of students of technical universities // Dynamic and technological problems of mechanics of structures and continuous media: materials of the XXII International symposium named after A. G. Gorshkov (Vyatichi, February 15 – 19, 2016). M.: LLC «TR-print», 2016. V. 1. P. 59 – 61.

УДК 004.588

В. В. Алексеев¹, e-mail: vvalex1961@mail.ru, **А. А. Соловьев²**, **А. А. Шишкин¹**
(¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия;
² Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск радиоэлектронной борьбы (учебный и испытательный), Тамбов, Россия)

МЕТОДИКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫМ СРЕДСТВОМ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Аннотация. Представлена методика определения момента перехода от 3D- к 2D-формату визуализации элементов осваиваемой технической системы для обеспечения функционирования учебно-тренировочного средства (УТС) в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: учебно-тренировочное средство, техническая система, формат визуализации.

V. V. Alekseev¹, **A. A. Solov'ev²**, **A. A. Shishkin¹**
(¹ Tambov State Technical University, Tambov, Russia;
² Interspecies Center of Preparing and Fight Application Radio Electron Fight Forces (Teaching and Testing), Tambov, Russia)

THE METHOD OF INTELLECTUAL CONTROL OF A TRAINING TOOL IN REAL TIME

Abstract. At this article is shown the method of choosing the moment of switching from 3D- to 2D-format of learned technical system elements visualization for providing the learning and coaching service real-time operation.

Index terms: learning and coaching service, technical system, format of visualization.

Одними из наиболее эффективных средств освоения техники являются УТС, предлагающие интерактивный режим использования. Использование 3D-представления УТС позволяет опе-

ратору узнать взаимное расположение модулей и элементов техники [2]. Однако применение 3D-представления несет в себе и ряд недостатков. Поскольку 3D-модели, предназначенные

для взаимодействия с пользователем, довольно сложны в изготовлении, для их создания учитывается множество факторов, влияющих как на качество самой модели, так и на количество затраченных трудовых и временных ресурсов.

2D-представление используется для моделирования объектов техники, обучение работе на которой не требует трехмерного представления.

Создание 2D-представления занимает меньше трудовых и временных ресурсов, которые в свою очередь идут на тестирование или на проработку интерактивных механик (детальность проработки выполнения необходимых действий пользователя) [4].

Однако если моделируемый объект обладает сложной формой и для осуществления взаимодействия с ним необходимо ее понимать (возможность вращения объекта в пространстве), то в 2D-представлении это реализовать гораздо труднее, чем в 3D [5].

В ходе анализа данных технологий были сформулированы факторы использования того или иного подхода.

Библиографический список

1. **Создание 2d-игр и почему не делать 3d?** Двухмерные и трехмерные игры. Режим доступа: <http://www.econdude.pw/2017/04/sozdanie-2d-igr-i-pochemu-ne-delat-3d-dvuhmernye-i-trehmernye-igry.html>

2. **Технология** быстрого создания фонов для 2D-игр на базе 3D-заготовок (48 часов разработки). Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/164175/>

3. **Преимущества** 3d-графики перед 2d-объектами. Режим доступа: <http://cpu3d.com/preimushhestva-3d-grafiki-pered-2d-obektami/>

4. **3D-печать** в Blender: создание подходящей модели. Режим доступа: <https://www.sculpteo.com/>

5. **Чем отличается 3D от 2D** (мнение профессионалов). Режим доступа: https://www.hwp.ru/articles/CHem_otlachaetsya_3D_ot_2D__28mnenie_professionalov_29__82586/

References

1. **2D-games** creating and why you shouldn't create the 3D-games? Access mode: <http://www.econdude.pw/2017/04/sozdanie-2d-igr-i-pochemu-ne-delat-3d-dvuhmernye-i-trehmernye-igry.html>

2. **Technology** of fast creating of 2D-games' backgrounds on the base of 3D-models. Access mode: <https://habrahabr.ru/post/164175/>

3. **Positives** of 3D-graphics in front of 2D. Access mode: <http://cpu3d.com/preimushhestva-3d-grafiki-pered-2d-obektami/>

4. **3D-print** in Blender: proper model creating. Access mode: <https://www.sculpteo.com/>

5. **How 3D differ** from 2D (professionals' opinion). Access mode: https://www.hwp.ru/articles/CHem_otlachaetsya_3D_ot_2D__28mnenie_professionalov_29__82586/

В. В. Алексеев¹, e-mail: vvalex1961@mail.ru, **А. А. Соловьев²**, **А. А. Шишкин¹**
(¹ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия;
² Межвидовой центр подготовки и боевого применения войск радиоэлектронной борьбы
(учебный и испытательный), Тамбов, Россия)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ОПТИМИЗАЦИИ 3D-МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СРЕДСТВ ОСВОЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация. Представлен сравнительный анализ методик оптимизации 3D-моделей для средств освоения технических систем для повышения производительности учебно-тренировочного средства (УТО) в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: техническая система, оптимизация, моделирование.

V. V. Alekseev¹, A. A. Solovlev², A. A. Shishkin¹
(¹ Tambov State Technical University, Tambov, Russia;
² Interspecies Center of Preparing and Fight Application Radio Electron Fight Forces
(Teaching and Testing), Tambov, Russia)

COMPARATIVE ANALYSIS OF OPTIMIZATION TECHNIQUES FOR 3D-MODELS FOR MEANS OF DEVELOPING TECHNICAL SYSTEMS

Abstract. At this article is presented the compared analysis of 3D-models optimization methods for technical systems learning services for proving the learning and coaching service real-time operation.

Index terms: technical systems, optimization, modeling.

Использование 3D-моделей позволяет максимально эффективно организовать интерактивный режим в УТС. Однако использование высокополигональных объектов приводит к сильной нагрузке компьютера, что приводит к задержкам в работе. Устранение недостатков необходимо осуществлять путем проведения программной оптимизации УТС.

Метод использования текстур заключается в том, что при высокой степени детализации объекта совокупность отдельных элементов модели заменяют плоским изображением этих элементов.

Другим методом оптимизации модели является оптимизация уже готовой высокодетализированной модели с сохранением приемлемого качества отображения модели – метод уменьшения числа полигонов.

Анализ требований к 3D-моделированию технических систем и сравнительный анализ методов оптимизации 3D-моделей позволил составить сравнительную таблицу особенностей данных методов.

Библиографический список

1. **Методы** оптимизации высокополигональных 3D-моделей. Режим доступа: http://brainy.pro/blog-en/52-optimization_3d
2. **3D-печать** в Blender: создание подходящей модели. Режим доступа: <https://www.sculpteo.com/>
3. **Уменьшение** полигональности 3D-моделей с помощью Autodesk 3Ds Max и Rhinoceros. Режим доступа: <https://geektimes.ru/company/3dquality/blog/253342/>
4. **Как уменьшить** количество полигонов в 3ds Max. Режим доступа: <http://lumpics.ru/how-to-decrease-amount-of-polygons-in-3d-max/>
5. **Алгоритмы** удаления невидимых линий и поверхностей. Режим доступа: http://www.astro.tsu.ru/KGaG/text/5_6.html
6. **Low-poly models.** Понятие низко-полигональных моделей». Режим доступа: <http://www.gamedev.ru/art/terms/lowpoly>
7. **Low Poly Tricks, Tips & Techniques.** Режим доступа: <http://www.loonygames.com/content/1.6/totb/index5.php>

References

1. **High-poly** 3D-models optimizing methods. Access mode: http://brainy.pro/blog-en/52-optimization_3d

2. **3D-print** in Blender: proper model creating. Access mode: <https://www.sculpteo.com/>

3. **Decreasing** the number of polygons of 3D-model using Autodesk 3Ds Max and Rhinoceros. Access mode: <https://geektimes.ru/company/3dquality/blog/253342/>

4. **How to decrease** amount of polygons in 3d max. Access mode: <http://lumpics.ru/how-to-decrease-amount-of-polygons-in-3d-max/>

5. **Algorithms** of deleting the invisible lines and surfaces. Access mode: http://www.astro.tsu.ru/KGaG/text/5_6.html

6. **Low-poly models**. Access mode: <http://www.gamedev.ru/art/terms/lowpoly>

7. **Low Poly Tricks**, Tips & Techniques. Access mode: <http://www.loonygames.com/content/1.6/totb/index5.php>

УДК 681.518.5

Э. С. Аревшатян, e-mail: edarev@mai.ru, **Н. В. Павлова**
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия)

ОЦЕНКА ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОУРОВНЕВОГО ПОДХОДА

Аннотация. Приведен анализ оценки знаний студентов с использованием системы управления многоуровневого подхода, с расширением и дополнением классических методов оценки знаний студентов, применяемых для анализа результативности освоения прочитанного материала. Автоматизированная система разработана как первая ступень автоматизированной системы обучения.

Ключевые слова: оценка знаний, тестирование, оценочные средства, уровни.

E. S. Arevshatyan, N. V. Pavlova
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

ASSESSMENT OF KNOWLEDGE OF STUDENTS WITH USE OF A CONTROL SYSTEM OF MULTILEVEL APPROACH

Abstract. The report is devoted to the analysis of assessment of knowledge of students with use of a control system of multilevel approach, with expansion and addition of classical methods of assessment of knowledge of the students applied to the analysis of effectiveness of development of the read material. The automated system is developed as the first step of the automated system of training.

Index terms: assessment of knowledge, testing, estimated means, levels.

Контролю подлежат знания студентов, объединенных в группы. Студенты в ходе обучения должны выполнять собственные задания и контролировать уровень своих знаний с помощью контрольных средств [1]. Разные средства в комплекте имеют различные уровни глубины проверки знаний. Реализовано два уровня оценочных средств. Уровень 1 – прохождение классического тестирования с вопросом и вариантами ответов. Уровень ориентирован на закрепле-

ние основных терминов понятий курса. Уровень 2 – оценка понятийного аппарата студентов. На этом уровне студент должен продемонстрировать способность использовать закрепленный понятийный аппарат. Студент должен ответить в письменной форме на поставленный вопрос.

Система имеет два уровня доступа к проверке знаний: для студентов и преподавателя. Для преподавателя формируются отчетные материалы о работе студентов с системой, что позволяет вы-

явить как общие слабые места, так и проанализировать работу каждого студента в ходе обучения.

Система реализована на базе клиент-серверной архитектуры с использованием базы данных и протестирована на материале дисциплины «Компьютерные методы обработки информации». Результаты экспериментов подтверждают целесообразность ее использования как первой ступени разрабатываемой автоматизированной системы обучения.

Библиографический список

1. Муратов В. С., Морозова Е. А. Оценка исходного уровня знаний студентов при реализации образовательных программ // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 12-4. С. 529.

References

1. Muratov V. S., Morozova E. A. Assessment of initial level of knowledge of students at implementation of educational programs // The International magazine of experimental education. 2015. № 12-4. P. 529.

УДК 004.514

В. В. Вережан, e-mail: verezhan.vlad@yandex.ru

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

РАСПОЗНАВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ НА РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Аннотация. Производственный контроль качества печатных плат является составной частью типового технологического процесса и сводится к определению двух составляющих: явных дефектов, характеризующих процент выхода годных изделий, и скрытых дефектов, снижающих надежность изделий. Основными методами контроля являются неразрушающие методы. При этом оценка качества изделий, для которых проверка иным способом невозможна или малоэффективна путем применения традиционных методов диагностики и локализации дефектов, возможна только с использованием рентгеновской инспекции.

Ключевые слова: производство печатных плат, дефекты печатных плат, автоматический контроль, рентгеновская инспекция, машинное обучение.

V. V. Verezhan

(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

RECOGNITION OF PRINTED ELEMENTS ON X-RAY IMAGES

Abstract. Production quality control of printed circuit boards (PCB) is an integral part of the standard technological process and is reduced to the definition of two components: obvious defects that characterize the percentage of yield of suitable products and hidden defects that reduce the reliability of products. The main methods of control are non-destructive methods. At the same time, an assessment of the quality of products for which verification is otherwise impossible or ineffective by applying traditional methods of diagnosis and defect localization is possible only with the use of X-ray inspection.

Index terms: PCB production, PCB defects, automatic control, X-ray inspection, machine learning.

Для создания современных устройств, из-за их сложности, требуется увеличить степень автоматизации производства печатных плат. Освобождение людей от работы на установках и перекладывание этой работы на машину в производстве обеспечивает выпуск более лучшей и качественной продукции, с гораздо меньшим количеством дефектов. Обнаружение таких де-

фектов так же стараются передавать компьютеру на анализ. Автоматический анализ рентгеновских снимков позволяет сократить затраченное время на выявление дефектов и сократить риск их пропуска. Автоматический контроль важен тем, что он позволяет избавиться от «человеческого фактора» во время рентгеновской инспекции, так как большая часть брака как раз из-за

невнимательности рабочих. Эффективность визуального контроля человеком составляет всего лишь 50 %, в то время как эффективность во многих установленных системах с автоматическим контролем достигала 99 % [1]. Стоит отметить, что на автоматическом контроле требуется всего один оператор, вместо установленных на каждом этапе контроля (после нанесения паяльной пасты, установки компонентов, пайки), что позволяет перенаправить трудовые ресурсы на другие этапы производственного процесса.

Однако программы для автоматического контроля невозможно заказать отдельно. Они поставляются только вместе с более дорогими томографами и рентгеновскими установками, которые не могут позволить себе большинство компаний с мелкосерийным и единичным производством. Таким компаниям проще купить более дешевые аналоги с меньшим количеством функций и нанять больше операторов в качестве рабочей силы. Еще одна проблема в том, что для обнаружения дефектов необходимо выделить компонент на снимках, а уже потом выявлять дефекты в паяных соединениях. Выделение компонентов остается за оператором, вручную или с использованием уже готовых файлов с распо-

ложением этих компонентов. На это тратится немалое количество времени.

Чтобы упростить задачу операторам, необходимо разработать программное обеспечение для автоматического распознавания компонентов печатной платы. Такое программное обеспечение будет использовать машинное обучение с наработанной базой данных компонентов. У пользователей будет возможность создавать свою базу данных и обмениваться между собой. Из входных данных пользователю будет необходимо задать размер печатной платы и, возможно, количество слоев. В результате работы программного обеспечения должно сохраняться файл с местоположением каждого компонента и информацию о типе корпуса. Разработка ПО ведется на языке Python с библиотекой компьютерного зрения OpenCV с открытым исходным кодом.

Библиографический список

1. **Dipaul** [Электронный ресурс]: Контрольный тандем; Дон Миллер. URL: <https://www.dipaul.ru/pressroom/kontrolnyy-tandem/> (14.04.2014).

References

1. **Dipaul** [Electronic resource]: Control tandem; Don Miller. URL: <https://www.dipaul.ru/pressroom/kontrolnyy-tandem/> (14.04.2014).

В. Н. Колбасов, И. С. Мазуров, А. А. Мясников, e-mail: moppi2409@mail.ru, linever88@mail.ru
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия)

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПИЛОТАЖНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО НАПРАВЛЕНИЮ: СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ (САУ) ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ (ЛА)

Аннотация. Рассмотрено создание мощного, но экономичного пилотажного стенда, позволяющего благодаря возможностям симуляции системы управления ЛА проводить высококачественное и эффективное обучение высококвалифицированных специалистов.

Ключевые слова: пилотажный стенд, системы управления, симуляция, обучение, МиГ-21, рулевой механизм, многофункциональный индикатор, SimInTech.

V. N. Colbasov, I. S. Mazurov, A. A. Myasnikov
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

LABORATORY AEROBATIC STAND FOR PRACTICAL AND LABORATORY WORK IN THE DIRECTION OF: AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS (ACS) AIRCRAFT (AC)

Abstract. The paper considers the creation of a powerful, but cost-effective flight stand, which allows, thanks to the simulation capabilities of the AIRCRAFT control system, to conduct high-quality and effective training of highly qualified specialists.

Index terms: pilot stand, control Systems, simulation, training, MiG-21, steering gear, multi-function indicator, SimInTech.

В настоящее время процесс обучения высококвалифицированных пилотов, а также проведения обучения основам теории полета и теории управления во многих исследовательских институтах является сложным и дорогостоящим, но востребованным процессом. Для максимальной эффективности в обучении применяются дорогостоящие и сложные в освоении пилотажные стенды, представляющие собой симулятор системы управления ЛА. Такое оборудование требует постоянного трудозатратного, длительного и дорогостоящего обслуживания. Производить и эксплуатировать его могут только очень крупные предприятия и институты в единичных экземплярах, что существенно отражается на процессах и качестве обучения по таким важным направлениям, как, например, системы автоматического управления (САУ) летательными аппаратами (ЛА).

Ввиду данной проблемы была поставлена задача разработать лабораторный пилотажный

стенд для проведения практических и лабораторных работ по вышеописанным направлениям, в частности по темам, посвященным системам директорного управления ЛА. Стенд является простым и экономичным в изготовлении и обслуживании, но имеет мощную программную базу, позволяющую добиться максимальной эффективности в обучении.

Пилотажный стенд был сделан на основе рулевого механизма самолета МиГ-21, что дает максимальное приближение процесса моделирования к реальному. Решение задачи разработки лабораторного стенда подразумевает выполнение следующих этапов:

- преобразование аналогового сигнала напряжений с ручки управления в цифровой, кодирующий отклонение ручки;
- выполнение расчета математической модели ЛА с учетом заданного отклонения;
- выведение полетной информации на МФИ (многофункциональный индикатор).

Аппаратная часть стенда включает в себя:

- имитационный стенд системы управления самолетом с ручкой управления и педалями;
- три потенциометрических датчика, снимающих показания непосредственно с органов управления.

Аналоговые сигналы ручки и педалей снимаются с имитационного стенда с помощью трех потенциометров, оцифровываются в АЦП и передаются на персональный компьютер (ПК) в среду SimInTech в виде двухбайтовых слов через виртуальный COM-порт.

Программное обеспечение ПК разработано в среде SimInTech и включает в себя три работающих в реальном времени проекта. Обмен сигналами в проекте осуществляется через базу данных сигналов SimInTech. Проекты выполняют следующие функции:

- прием, анализ аналоговых сигналов с потенциометрических датчиков и преобразование их в цифровые значения;
- прием цифровых значений, передача их в общую математическую модель ЛА и САУ;
- вывод значений вектора состояния ЛА на МФИ.

Результаты моделирования подтвердили пригодность предложенного подхода. Модульность системы обеспечивает ее гибкость и наращиваемость.

В будущем для стенда планируется разработать модификации, позволяющие повысить его эффективность в эксплуатации, такие как:

- вывод визуального отображения на широкоформатный дисплей;
- интегрирование технологии виртуальной реальности.

Библиографический список

1. Богословский С. В. Дорофеев А. Д. Динамика полета летательных аппаратов. СПб.: ГУАП, 2002.
2. Горлач Б. А., Шахов В. Г. Математическое моделирование. Построение моделей и численная реализация. М., 2018.
3. Ильясов Б. Г., Сaitова Г. А., Сабитов И. И. Применение логического регулятора для управления авиационным газотурбинным двигателем. ФГБОУ ВПО «Уфимский авиационный технический университет», 2015.
4. <http://arduino.cc>
5. <http://simintech.ru>

References

1. Bogoslovsky S. V. Dorofeev A. D. Flight dynamics of aircraft. Saint Petesburg: SUAE, 2002.
2. Gorlach B. A., Shakhov V. G. Mathematical modeling. Model construction and numerical implementation. M., 2018.
3. Ilyasov B. G., Saitova G. A., Sabitov I. I. Application of logic controller to control the aircraft gas turbine engine. FGBOU VPO «Ufa state aviation technical University», 2015.
4. <http://arduino.cc>
5. <http://simintech.ru>

К. А. Меркушова, e-mail: merkushova1412@mail.ru, А. П. Рыжков, e-mail: raptmaec@mail.ru
(ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИТОГОВОЙ ОЦЕНКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Аннотация. Разработана модель определения итоговой оценки обучения студентов по результатам текущего контроля с использованием аналитической платформы Deductor Studio. Итоговая оценка представлена в виде качественного показателя: зачтено либо не зачтено. Разработанная модель была получена на основе алгоритма «дерево решений».

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных, результаты обучения, образовательный процесс, дерево решений.

К. А. Merkushova, A. P. Ryzhkov
(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

DATA MINING IN THE TASK OF DETERMINING THE FINAL ASSESSMENT BASED ON THE RESULTS OF THE CURRENT CONTROL

Abstract. In this paper, using the analytical platform, developed a model Deductor Studio determine final assessment of student learning according to the results of the current control. The final score is represented as a qualitative indicator: credited or not credited. The developed model was derived based on decision tree algorithm.

Index terms: data mining, learning outcomes, learning process, a decision tree.

Существует множество задач, в которых методы интеллектуального анализа данных (data mining) очень полезны для всех участников образовательного процесса. Анализ данных позволяет лучше понять студентов, узнать, какие предметы вызывают большие затруднения, как лучше построить курс, чтобы получить максимально высокую оценку, с какими тестами студенты справляются, какую форму занятий предпочитают, в какой области научных интересов преуспевают и т.д. Эти данные могут быть использованы для принятия эффективных решений в целях совершенствования образовательного процесса.

В основу технологии Data Mining положена концепция шаблонов (patterns), которые представляют собой закономерности, выраженные в понятных человеку формах.

Очевидно, что если будут существовать адекватные шаблоны основных форм и видов деятельности учебного заведения, то с большой долей вероятности можно будет говорить о более качественной организации и возможности

при необходимости оперативной корректировки образовательного процесса.

Инструменты Data Mining позволяют выявить факторы, которые оказывают влияние на результат обучения. Применение интеллектуального анализа данных в процессе обучения способствует качественным изменениям традиционной системы образования.

Основные направления применения методов интеллектуального анализа:

- анализ и визуализация данных;
- синтез обратной связи между студентом и преподавателем;
- моделирование поведения студента в образовательных ситуациях;
- прогнозирование и выработка рекомендаций по обучению;
- классификация и кластеризация данных;
- генерация ассоциативных правил;
- конструирование курсов;
- планирование и оперативное управление образовательным процессом.

В работе разработана модель определения итоговой оценки обучения студентов по результатам текущего контроля с использованием аналитической платформы Deductor Studio. Итоговая оценка представлена в виде качественного показателя: зачтено либо не зачтено. Разработанная модель была получена на основе алгоритма «дерево решений». Представлены результаты моделирования данных образовательного процесса. При построении сети зависимостей для дерева решений были использованы следующие факторы, влияющие на результаты итогового контроля: средний балл оценок текущего контроля, активность на занятии, определяемая количеством полученных оценок в ходе обучения и количество пропусков занятий.

Исходные данные для формирования итоговой оценки по текущим результатам обучения были взяты из базы данных обучения студентов третьего курса ТГТУ при освоении дисциплины «Интеллектуальные методы анализа данных». Полученная модель позволяет решить две задачи. Первая – использование модели позволяет проводить аналогичную оценку по другим дисциплинам и второе – полученные результаты моделирования позволяют определить значимость используемых в модели факторов. Кроме того, использование данной модели устраняет субъективность оценки преподавателя.

Полученные результаты интеллектуальной обработки позволяют судить о качестве учебного процесса и выдвигать гипотезы относительно способов управления его совершенствованием.

УДК 004.588

А. А. Шишкин, e-mail: 68region333@mail.ru
(ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ ЭРГОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация. Рассмотрено применение компетентностного подхода при подготовке операторов эрготехнических систем. Обоснована целесообразность формирования индивидуальной траектории подготовки с помощью информационной системы.

Ключевые слова: информационная система, подготовка, оператор, эрготехническая система, компетентностный подход, индивидуальная траектория.

А. А. Shishkin
(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

APPLICATION OF THE COMPETENCE APPROACH IN THE FORMATION OF AN INDIVIDUAL TRAJECTORY IN INFORMATION SYSTEMS FOR THE TRAINING OF OPERATORS OF ERGOTECHNICAL SYSTEMS

Abstract. The application of the competence approach in the training of operators of ergotechnical systems is considered. The expediency of forming an individual training trajectory with the help of an information system is substantiated.

Index terms: information system, training, operator, ergotechnical system, competence approach, individual trajectory.

Оценка успеваемости объекта подготовки только по сумме воспроизводимых им знаний не позволяет определить его готовность к само-

стоятельной работе в качестве оператора эрготехнической системы, в связи с чем целесообразно использовать компетентностный подход.

Компетентностный подход акцентирует внимание на результате подготовки и ставит в центр процесса личность будущего оператора с ее потребностями, способностями и интересами, что подводит к вопросу о формировании индивидуальной траектории подготовки.

Индивидуальная траектория подготовки – персональный путь достижения поставленной дидактической цели объектом подготовки, соответствующий его способностям, мотивам, интересам и потребностям [1]. Речь идет не только об отборе индивидуального содержания подготовки, но и о возможности выбора будущим оператором своего стиля подготовки, оптимального темпа и ритма, диагностики и оценки результатов.

Из всех видов систем подготовки только информационная система решает такую проблему, как адаптивность подготовительного материала [2], что позволяет применять индивидуальные траектории подготовки.

Таким образом, применение компетентностного подхода позволяет будущему оператору эрготехнической системы получить умения и навыки, необходимые для его дальнейшей рабочей деятельности, а формирование индивидуальных траекторий подготовки с помощью информационной системы делает процесс подготовки более эффективным.

Библиографический список

1. **Сысоев П. В.** Обучение по индивидуальной траектории // Язык и культура. 2013. № 4. С. 121 – 131.
2. **Юрков Н. К.** Интеллектуальные компьютерные обучающие системы: монография. Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. 304 с.

References

1. **Sysoev P. V.** Training on an individual trajectory // Language and Culture. 2013. № 4. P. 121 – 131.
2. **Yurkov N. K.** Intellectual computer training systems. Penza: Publishing house PSU, 2010. 304 p.

Секция 6

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ РАЗРАБОТКИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРИВОДА

УДК 621.313.2.072.2

Е. А. Дунич, e-mail: evgeniydunich@mail.ru, С. С. Пенкин, e-mail: sergeipenkin@gmail.com
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (государственный технический университет)», Москва, Россия)

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ПОЛУЧЕНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХФАЗНОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ С ПОМОЩЬЮ ШИМ-СИГНАЛА

Аннотация. Предложен автоматизированный подход к получению энергетических характеристик исполнительного механизма привода с двухфазным вентильным двигателем с независимыми фазами на базе программного комплекса. Разработанный и созданный программный комплекс был использован для получения данных о потребляемой мощности, механической мощности, теряемой мощности, к.п.д. в двигательном режиме работы и дополнительных потерь мощности на плоскости механических характеристик в случае очередного метода импульсного управления при различных частотах ШИМ-сигнала.

Ключевые слова: двухфазный вентильный двигатель, независимые обмотки, энергетические характеристики, импульсное управление, к.п.д.

E. A. Dunich, S. S. Penkin
(Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia)

AUTOMATED APPROACH TO OBTAINING POWER CHARACTERISTICS OF TWO-PHASE BRUSHLESS DC MOTOR CONTROLLED BY PWM-SIGNAL

Abstract. In this paper an automated approach to obtaining power characteristics of action mechanism of two-phase brushless DC Motor with independent phases based on a program complex. The developed and created program complex was used to obtain data about power consumption, mechanical power, energy efficiency in the motor working mode and addition power losses on the mechanical characteristics flat in case of the alternative pulse-control method at various PWM-signal frequencies.

Index terms: two-phase brushless dc motor, independent windings, power characteristics, pulse control.

В настоящее время остро стоит задача разработки и реализации быстродействующих и энергоэффективных методов импульсного управления [1] приводными системами с многофазными вентильными двигателями, которые позволят обеспечить заданную точность обработки входного сигнала. В настоящее время как в отечественных, так и в зарубежных источниках отсутствует информация об автоматизированных подходах к получению энергетических характеристик двухфазных ВД при реализации импульсного управления на основе ШИМ-сигнала.

Предлагаемый автоматизированный подход основывается на программном комплексе, состоящем из компьютерной модели исследуемой системы и модулей автоматизации, которые реализованы в виде скрипт-файлов на языке Matlab и выполняют анализ исходных данных перед рас-

четом, запуск расчета модели на доступных ядрах компьютера и анализ полученных данных с последующим отображением результатов расчета в графических окнах. При проведении моделирования использованы параметры двигателя ДБМ 63-0,06-3-2, выпускаемого ОАО «Машиноаппарат» [2].

Потребляемая, теряемая и механическая мощности, а также к.п.д. представлены в виде поверхностей при различных частотах ШИМ-сигнала: 1, 10, 20, 30 и 40 кГц. Определено, что при скоростях, близких к скорости холостого хода, потребляемая и теряемая мощности пренебрежимо малы; максимальное значение к.п.д. примерно равно 0,85 и соответствует предельной механической характеристике, т.е. не зависит от частоты ШИМ-сигнала. При увеличении частоты ШИМ-сигнала объем под поверхностью к.п.д. изменяется в сторону увеличения, так как умень-

шаются дополнительные потери из-за пульсации тока на периоде ШИМ-сигнала. Для данного двигателя при поочередном методе импульсного управления частота ШИМ-сигнала 20 кГц может быть выбрана в качестве оптимальной.

Наряду с энергетическими характеристиками программный комплекс позволяет построить механические и регулировочные характеристики, а также эпюры цифровых управляющих сигналов, фазных напряжений и токов, противо-ЭДС, тока источника питания и электромагнитного момента, что позволяет определить, в каких режимах находится двигатель на периоде ШИМ-сигнала [3]. Выявлено, что при поочередном методе импульсного управления механические и регулировочные характеристики нелинейны, однако в двигательном режиме близки к линейным.

Библиографический список

1. **Кривилев А. В.** Разработка и реализация на ПЛИС энергоэффективных способов импульсного управления системами «усилитель мощности – электродвигатель» на основе методов автоматизированного проектирования: дис. ... д-ра техн. наук: 05.09.03. М., 2013. 522 с.

2. **Двигатель ДБМ 63-0,06-3-2**, ОАО «Машиноаппарат». URL: http://mashap.maverick.ru/MenuVert/StatorGlad/63_0.06_3_2.html

3. **Кривилев А. В., Дунич Е. А., Пенкин С. С.** Исследование режимов работы двухфазного вентильного двигателя в течение периода широтно-импульсного сигнала: тезисы 16-й Междунар. конф. «Авиация и космонавтика – 2017». 20 – 24 ноября 2017 года. М.: Типография «Люксор», 2017. 728 с.

References

1. **Krivilev A. V.** Razrabotka i realizatsiya na PLIS energoэффективnykh sposobov impulsnogo upravleniya sistemami «usilitel moshchnosti – electrodvigatel» na osnove metodov avtomatizirovannogo proyectiervaniya. Dissertatsiya na soiskaniya uchenoy stepeni doctora technicheskikh nauk: 05.09.03. M., 2013. 522 p.

2. **Dvigatel DBM 63-0,06-3-2 /** ОАО «Mashinoapparat». URL: http://mashap.maverick.ru/MenuVert/StatorGlad/63_0.06_3_2.html

3. **Krivilev A. V., Dunich E. A., Penkin S. S.** Issledovanie rezhimov raboty dvuhfaznogo ventilnogo dvigatelya v techeniye perioda shirotno-impulsnogo signala: thesisy 16-oy Mezhdun. konf. «Aviatsiya I kosmonavtika – 2017». 20 – 24 noyabrya 2017 goda. M.: Tipografiya «Luxor», 2017. 728 p.

УДК 621.039.566.6

Г. А. Залужная, e-mail: Zaluzhnaya_galya@mail.ru, **А. М. Загребаяев**
(НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕГРУЗОК ТОПЛИВА В РЕАКТОРЕ ТИПА РБМК

Аннотация. Рассмотрена задача реализации остаточного ресурса ядерного топлива при выводе из эксплуатации реактора типа РБМК. Изложена математическая модель спектра ТВС по энерговыработке. Приведено сравнение двух возможных способов вывода реактора – с однозонной и двухзонной загрузкой. Результаты получены на точечной модели в линейном приближении зависимости коэффициента размножения и мощности ТВС от энерговыработки.

Ключевые слова: каналный реактор, вывод из эксплуатации.

G. A. Zaluzhnaya, A. M. Zagrebayev
(NRNU «MEPhI», Moscow, Russia)

MATHEMATICAL MODELLING OF HIGH-POWER CHANNEL-TYPE REACTOR CORE CHARGE

Abstract. We consider a High-Power Channel-Type Reactor (HPCTR) that must be decommissioned optimally. Mathematical of fuel assemblies' spectrum is provided. Two ways of HPCTR decommissioning are compared: forming one-region or two-region charge. All results were obtained using reactor's point model and linear approximation of fuel assembly's power and multiplication factor.

Index terms: Channel-Type Reactor, decommissioning.

Цель данной статьи – с помощью простой модели обратить внимание на физическую возможность и эффективность использования остаточного ресурса ядерного топлива за счет внутренней реструктуризации активной зоны при снижении мощности в процессе вывода из эксплуатации.

Стационарный спектр ТВС в активной зоне реактора: $n(E) = \frac{q_0}{W_0 - BE}$, где q_0 – подпитка

свежим топливом; E – энергосвыработка; W_0 – начальная мощность ТВС. В случае отсутствия подпитки реактора свежим топливом спектр совпадает со стационарным, но начинается с ненулевой энергосвыработки. Мощность ТВС будем считать линейно зависимой от плотности потока нейтронов и энергосвыработки: $W(E, r) = \frac{\phi(r)}{\phi_{\max}}(W_0 - BE)$. Сам

спектр ТВС $n(E)$ от плотности потока нейтронов не зависит. Эффективный коэффициент размножения $K_{\text{эф}}$ в активной зоне должен быть больше 1 для учета оперативного запаса реактивности.

Первый возможный способ сохранения критичности реактора при выводе эксплуатации – коллапс активной зоны, когда из нее извлекаются ТВС с большой энергосвыработкой. Получено, что такой реактор может после прекращения подпитки свежим топливом выработать тепло-

вой энергии еще примерно 170 ГВт-сут до полной потери критичности, при этом его мощность снижается до 25 % от номинальной.

Второй возможный способ вывода реактора из эксплуатации – формирование двухзонной загрузки: свежие ТВС ставятся в центр, выгоревшие – на периферию. При использовании двухзонной загрузки реактор может выделить энергию до 400 ГВт-сут к моменту полной потери критичности, к моменту его остановки мощность снижается до 14 % от номинальной.

При наложении технических, экономических и прочих ограничений, не позволяющих реализовать в полной мере использование остаточного энергоресурса за счет реструктуризации топливной загрузки при снижении мощности реактора, может быть использован известный метод перемещения недогоревших ТВС из использованного энергоблока в действующий [1].

Библиографический список

1. Федосов А. М. Оптимальное использование топлива при выводе АЭС с РБМК из эксплуатации // Атомная энергия. Т. 102. Вып. 5. С. 284 – 290.

References

1. Fedosov A. M. Optimalnoe ispolzovanie topliva pri vivode AES s RBMK iz ekspluatatsii // Atomnaya energiya. T. 102. Vyp. 5. P. 284 – 290.

УДК 621.3(075.32)

В. В. Слепцов, А. Е. Аблаева, А. А. Трошин, А. С. Комаров
(ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва, Россия, e-mail: Anna_Ablaeva@mail.ru)

ЭЛЕКТРОПРИВОД С ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. Представлены характеристики вновь разработанного электропривода с вентильным двигателем.
Ключевые слова: вентильный двигатель, электропривод.

V. V. Slepcev, A. E. Ablaeva, A. A. Troshin, A. S. Komarov
(FSBEI HE «MIREA – Russian Technological University», Moscow, Russia)

ELECTRIC DRIVE WITH VALVE MOTOR FOR PROCESS EQUIPMENT

Abstract. The report presents the characteristics of a newly developed electric drive with a valve motor.
Index terms: valve motor, electric drive.

Регулируемый электропривод является энергетической основой автоматизации технологических процессов, особенно широко он применяется в гибком автоматизированном производстве,

входя в состав промышленных роботов, станков с ЧПУ, лазерных установок и другого оборудования, требующего регулирования параметров движения исполнительных органов [1].

Современный регулируемый электропривод (РЭП) представляет собой сложную электро-механическую систему, осуществляющую преобразование входного управляющего сигнала в скорость перемещения исполнительного органа.

В настоящее время действует ГОСТ 27803–91 «Электроприводы регулируемые для металлообрабатывающего оборудования и промышленных роботов. Технические требования», регламентирующий технические характеристики электроприводов для автоматизированного производства.

Для регулируемых электроприводов основными характеристиками являются:

- частота пропускания, определяемая как частота синусоидального задающего сигнала, на которой падение по амплитуде сигнала с датчика скорости равно 30 % при номинальном моменте инерции;
- диапазон регулирования скорости, регламентируемый допустимой моментной ошибкой (25 %) на минимальной скорости при номинальном моменте нагрузки.

Сотрудниками кафедры разработан и изготовлен совместно с ООО «Лазеры и аппаратура ТМ» опытный образец электропривода с вентильным электродвигателем и сервоусилителем

S-220-60, который в настоящее время проходит заводские испытания [2].

Предварительные испытания показали, что разработанный электропривод обладает хорошими динамическими характеристиками, соответствующими требованиям ГОСТ и малыми весогабаритными показателями, т.е. высокой эффективностью.

Библиографический список

1. **Обрабатывающее** оборудование нового поколения. Концепция проектирования / В. Л. Афонин, А. Ф. Крайнев, В. Е. Ковалев, Д. М. Ляхов, В. В. Слепцов. М.: Машиностроение, 2001. 256 с.
2. **Слепцов В. В., Аблаева А. Е., Рокачевский О. А.** Разработка высокоэффективного электропривода с вентильным двигателем // Приборы. 2017. № 10. С. 26 – 29.

References

1. **Obrabatyvayushchee** oborudovanie novogo pokoleniya. Konceptiya proektirovaniya / V. L. Afonin, A. F. Krajnev, V. E. Kovalev, D. M. Lyahov, V. V. Slep-cov. M.: Mashinostroenie, 2001. 256 p.
2. **Slepcev V. V., Ablaeva A. E., Rokachevskij O. A.** Razrabotka vysokoehffektivnogo ehlektroprivoda s ventil'nym dvigatelem // Pribory. 2017. № 10. P. 26 – 29.

УДК 004.942

В. А. Щербина
(ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия)

СИНТЕЗ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЛЕДЯЩИМ ПРИВОДОМ С МАЛОИНЕРЦИОННЫМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО НАГРУЗОЧНОГО СТЕНДА

Аннотация. Представлено описание разработанного автоматизированного нагрузочного стенда, имитирующего работу следящего привода. Приведен алгоритм синтеза корректирующего устройства модифицированным методом подчиненного регулирования координат.

Ключевые слова: электрический следящий привод, нежесткая механическая передача, автоматизированный нагрузочный стенд, подчиненное регулирование.

V. A. Shcherbina
(Tula State University, Tula, Russia)

SYNTHESIS ALGORITHMS CONTROL ELECTRIC SERVO DRIVE WITH A LOW-INERTIA ACTUATING MOTORS FOR AUTOMATED LOAD STAND

Abstract. A description is given of a developed automated loading platform simulating the operation of a servo drive. An algorithm for the synthesis of a correcting device is given by a modified method of subordinate coordinate adjustment.

Index terms: electric follower drive, non-rigid mechanical transmission, automated load stand, subordinate control.

В настоящее время с учетом жестких требований, предъявляемых к следящим приводам, отработку их алгоритмов управления целесообразно проводить на автоматизированных нагрузочных стендах, которые должны воспроизводить основные физические процессы, протекающие в силовой системе исследуемого электрического следящего привода (ЭСП).

Исследуемой системой в данной работе является разработанный автоматизированный нагрузочный стенд, позволяющий проводить экспериментальные исследования характеристик ЭСП с синтезированными алгоритмами управления с учетом люфта и нежесткости механической передачи, моментов инерции нагрузки и сухого трения на выходном валу привода. В качестве исполнительного двигателя использован малоинерционный двигатель постоянного тока.

Нежесткость механической передачи имитируется упругими торсионами, соединенными непосредственно на валу исполнительного двигателя. Момент сухого трения реализуется с помощью блока гистерезисных муфт.

В качестве датчика угла поворота выходного вала привода использован синусно-косинусный вращающийся трансформатор, вал которого соединен с валом маховика, имитирующего инерционную нагрузку, через дополнительный редуктор. Преобразование аналогового сигнала в цифровой код обеспечивается 12-разрядным АЦП.

В целях получения информации о скорости вращения ротора двигателя и угла закручивания торсиона в функциональную схему введены дополнительные 10-разрядные фотоимпульсные датчики, устанавливаемые на выходном валу исполнительного двигателя и на валу инерционной нагрузки.

Сопряжение аналоговой силовой части с цифровой управляющей системой позволяет программно реализовать цифровую коррекцию на основе задаваемого кода и кода сигнала обратной связи.

В качестве базового метода синтеза ЭСП выбран метод подчиненного регулирования, подразумевающий собой поочередное корректирование контролируемых координат от внутреннего контура к внешнему.

В связи с тем что выбранный метод характеризуется достаточно большим перерегулированием, предложена модификация данного метода, учитывающая требования, предъявляемые к показателю колебательности. Регулируемыми координатами приняты координата скорости выходного вала двигателя и координата положения выходного вала нагрузки.

Разработана Simulink-модель, реализующая коррекцию силовой системы ЭСП модифицированным методом подчиненного регулирования координат на разных уровнях сложности математического описания.

Библиографический список

1. Терехов В. М., Осипов О. И. Системы управления электроприводов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / под ред. В. М. Терехова. 2-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 304 с.

References

1. Terekhov V. M., Osipov O. I. Sistemy upravleniya ehlektroprivodov: uchebnik dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenij / pod red. V. M. Terekhova. 2-e izd., ster. M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2006. 304 p.

СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ КОМБИНИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЛЕДЯЩИМ ПРИВОДОМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО НАГРУЖАЮЩЕГО СТЕНДА

Аннотация. Разработана иерархия математических моделей силовой системы электрического следящего привода с нежесткой МП в пространстве состояний. Синтезирован алгоритм управления приводом. Сформирован алгоритм восстановления полного вектора состояния силовой системы привода по его измеряемой части. Разработана принципиальная схема силовой части импульсного усилителя мощности, используемого для управления приводом.

Ключевые слова: комбинированное управление, электрический следящий привод, метод пространства состояний.

K. V. Maksimov
(Tula State University, Tula, Russia)

SYNTHESIS OF ALGORITHMS FOR COMBINED CONTROL OF ELECTRIC SERVO DRIVE BASED ON STATE SPACE METHODS FOR AUTOMATED LOADING STAND

Abstract. A hierarchy of mathematical models of the power system of the electric tracking drive with non-rigid MP in the state space is developed. The drive control algorithm is synthesized. The algorithm for restoring the full vector of the state of the power system of the drive by its measurable part is generated. A schematic diagram of the power part of the pulse power amplifier used to drive the drive is developed.

Index terms: combined control, electric servo drive, state space method.

К современным системам управления, в особенности используемым в авиационной и космической отраслях, предъявляются жесткие требования по быстродействию, энергопотреблению и пр. Традиционные алгоритмы управления часто не способны обеспечить выполнение данных требований; это обуславливает применение других алгоритмов, предварительно испытанных в условиях, достаточно близких к условиям эксплуатации. Появляется необходимость в применении различного рода стенов. В данной работе рассматривается автоматизированный стенд, позволяющий подготовить и апробировать алгоритмы управления электрическим следящим приводом с инерционной нагрузкой. Применение редуктора позволяет уменьшить габариты нагрузки при сохранении момента инерции, а двигатель постоянного тока в совокупности с гистерезисными муфтами – симитировать момент качки основания; последнее можно назвать отличительной особенностью стенда.

Начальным этапом работы является разработка иерархии математических моделей системы в пространстве состояний. Получение полной модели (в виде совокупности аналитических выражений) является довольно сложной задачей, потому предварительно получена упрощенная модель. Исследование моделей показало их достаточную адекватность. Так, реакция упрощенной модели на единичный ступенчатый сигнал практически соответствует реакции модели системы большего порядка. Реакция последней в свою очередь достаточно близка к реакции системы, заданной классическим способом (непосредственно в виде передаточной функции). Фазовое запаздывание моделей системы, синтезированной с помощью МПС, при гармоническом задающем воздействии незначительно превышает таковое для исходной модели.

Следующим этапом является синтез алгоритма управления системой методами пространства состояний. При этом реализация алгоритма, формирующего команды управления, требует полной

информации о векторе состояния (угловые скорости и углы поворота вала двигателя и механического привода, ток якоря двигателя). Вектор состояния может быть получен полностью, восстановлен при помощи наблюдателя состояния, либо недостающие координаты могут быть рассчитаны по измеренным величинам. Данный автоматизированный комплекс позволяет рассмотреть эти случаи и оценить применимость того или иного подхода к получению фазовых координат на практике.

На заключительном этапе разработаны принципиальные схемы сильноточных цепей импульсного усилителя мощности автоматизированного стенда. В состав этих цепей входят:

- электронные ключи, обеспечивающие питание двигателей (ключи управляются электронными схемами, так называемыми драйверами);
- бустерные источники питания, рассчитанные на различные выходные напряжения;
- аппаратная защита электрических схем от превышения допустимого уровня потребляемого тока.

Таким образом, в ходе данной работы была получена иерархия математических моделей силовой системы привода с нежесткой механической передачей. Синтезированы алгоритмы полного и частичного восстановления координат при помощи наблюдателя состояния. Разработаны принципиальные схемы силовой части импульсного усилителя мощности автоматизированного стенда.

Библиографический список

1. **Ким Д. П.** Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. М.: Физматлит, 2004. 464 с.
2. **Изерман Р.** Цифровые системы управления / пер. с англ. М.: Мир, 1984. 541 с.

References

1. **Kim D. P.** Theory of automatic control. V. 2. Multidimensional, nonlinear, optimal and adaptive systems. M.: Fizmatlit, 2004. 464 p.
2. **Izerman R.** Digital Control Systems. Trans. with English. M.: Mir, 1984. 541 p.

УДК 629.7.036.54

С. В. Володин, Д. Г. Сурначев, студенты каф. «Системы приводов авиационно-космической техники»,
С. Л. Самсонович, проф., науч. рук., **В. Н. Чубиков**, доц., науч. рук.
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (государственный технический университет)», Москва, Россия,
e-mail: valnikchu@gmail.com)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ САМОТОРМОЗЯЩЕГОСЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА

Аннотация. Приведены разработка и исследование кинематической схемы и конструкции лабораторной установки для испытаний самотормозящегося электромеханического привода на основе трехступенчатой планетарной передачи и муфты необратимого движения.

Ключевые слова: самотормозящийся привод, механизм однонаправленного действия.

S. V. Volodin, D. G. Surnachev, S. L. Samsonovich, V. N. Chubikov
(Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia)

THE DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF A SYSTEM FOR TESTING OF THE SELF-LOCKING ELECTROMECHANICAL DRIVE

Abstract. The following is the design and research of kinematic scheme and construction of laboratory equipment for testing of the self-breaking electromechanical drive based on 3-stage planetary gear and an irreversible clutch.

Index terms: self-breaking drive, a one-way action mechanism.

Важной проблемой разработчиков электро-механических приводов ЛА нового поколения является сокращение энергопотребления. Одним

из технических решений, решающим эту проблему, является использование в структуре электро-механических приводов механизмов однона-

правленного действия, которые способны удерживать объект управления в заданном положении при отключенном электродвигателе [1].

Сравнительный анализ механизмов однопроводного действия, проведенный для их применения в электромеханических приводах, показал, что по массогабаритным и энергетическим показателям, параметрам, влияющим на динамику приводов, наилучшим образом поставленной задаче соответствуют муфты необратимого движения (МНД). Имеется весьма ограниченное описание вариантов конструкций и теоретических расчетов по определению геометрических размеров, массовых, инерционных, точностных и силовых параметров МНД [2]. В настоящее время обнаружить реальные, промышленно выпускаемые, образцы МНД в целях исследования их использования в структуре электромеханических приводов не удавалось.

В 2017 году был найден промышленно выпускаемый механизм «Интерскол ДА-12ЭР-01» (производство Германии), в котором применена реальная конструкция МНД. В механизме имеется электродвигатель постоянного тока напряжением 12 В, мощностью 67 Вт; трехступенчатый планетарный редуктор с возможностью переключения скоростей; настраиваемая предохранительная муфта с выбором предельного момента до 28 Н·м, а главное – промышленно изготовленная муфта необратимого движения МНД. Примененная муфта состоит из четырех основных звеньев: входного звена – вилки (сепаратора), выходного звена – звездочки, неподвижно соединенной с корпусом обоймы, и шести роликов. Муфта является реверсивной и при зафиксированной обойме вращающий момент от ведущего звена – вилки посредством роликов передается на выходное звено – звездочку. При передаче вращающего момента в обратном направлении от выходного звена – звездочки на входное звено – вилку происходит заклинивание роликов между звездочкой и обоймой и вращение на вилку не передается.

Муфта была разобрана, элементы ее конструкции (средний радиус звездочки, диаметры и

длины роликов, углы заклинивания и др.) измерены и сравнены с теоретически рассчитанными параметрами. Проведенный анализ позволил внести коррекцию в теоретические расчеты при изготовлении МНД для разрабатываемых электроприводов с выходными моментами от 200 до 800 Н·м. В состав лабораторной установки для испытаний электромеханического привода входит: 1 – механизм «Интерскол ДА-12ЭР-01»; 2 – дополнительный редуктор на основе роликовой волновой передачи (позволяет получить на выходном валу момент до 800 Н·м); 3 – моментный нагрузочный в виде маятника с изменяемыми параметрами: грузом P , плечом ℓ и углом наклона α ; маятник позволяет нагружать выходной вал не только статическим, но и динамическим моментом $M(\alpha, t) = P\ell\alpha(t)$; 4 – следящая система, состоящая из датчика входного сигнала, дифференциального усилителя и установленного на выходном валу датчика углового положения; 5 – контрольно-измерительная аппаратура. Это позволит проводить исследование не только статических, но и динамических параметров электропривода с использованием МНД.

Библиографический список

1. **Электромеханические** силовые мини-приводы для «более электрифицированного» самолета / Н. В. Крылов, В. И. Лалабеков, И. И. Огольцов, С. Л. Самсонович, В. С. Степанов; под ред. Самсоновича. М.: Изд-во МАИ, 2016. 360 с.
2. **Самсонович С. Л., Чубиков В. Н., Красковский Н. Г.** Сравнительный анализ механизмов однопроводного действия для электромеханических приводов // Вестник МАИ. 2015. Т. 22, № 2. С. 103 – 114.

References

1. **Ehlektromekhanicheskie** silovye mini-privody dlya «boleee ehlektrifitsirovannogo» samolyota / N. V. Krylov, V. I. Lalabekov, I. I. Ogol'cov, S. L. Samsonovich, V. S. Stepanov; pod red. Samsonovicha. M.: Izd-vo MAI, 2016. 360 p.
2. **Samsonovich S. L., Chubikov V. N., Kraskovskij N. G.** Sravnitel'nyj analiz mekhanizmov odnopravlennoogo dejstviya dlya ehlektromekhanicheskikh privodov // Vestnik MAI. 2015. V. 22, № 2. P. 103 – 114.

В. Н. Мещеряков, А. И. Бойков,
В. В. Пикалов, Д. В. Ласточкин

(ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет «ЛГТУ», Липецк, Россия)

ЧАСТОТНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ ПО ЦЕПИ РОТОРА

Аннотация. Предложена система частотно-параметрического управления асинхронным электродвигателем с фазным ротором, обеспечивающая плавный пуск электродвигателя, и характеризующаяся простотой и надежностью.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, фазный ротор, индукционное сопротивление, преобразователь частоты, инвертор.

V. N. Meshcheryakov, A. I. Boikov, V. V. Pikalov, D. V. Lastochkin
(Lipetsk State Technical University «LSTU», Lipetsk, Russia)**FREQUENCY-PARAMETRIC CONTROL OF AN ASYNCHRONOUS MOTOR WITH A PHASE ROTOR ALONG THE ROTOR CIRCUIT**

Abstract. A system of frequency-parametric control of an induction motor with a phase rotor is proposed, which ensures a soft-start of the electric motor, and is characterized by simplicity and reliability.

Index terms: asynchronous motor, phase rotor, inductive resistance, frequency converter, inverter.

На многих производствах нашли свое применение асинхронные электродвигатели с фазным ротором. Для управления асинхронным двигателем с фазным ротором, работающем при повторно-кратковременном режиме работы, зачастую применяют параметрические системы запуска и регулирования скорости. Несмотря на то, что данные системы управления позволяют реализовать требуемые динамические характеристики электропривода, они не способны обеспечить энергоэффективное управление электродвигателем [1].

При модернизации таких приводов, как правило, в статорную цепь электродвигателя включают преобразователь частоты, способный реализовать оптимальное управление двигателем, и закорачивают ротор или производят полную замену электродвигателя с фазным ротором на короткозамкнутый. Однако статорные обмотки асинхронной машины с фазным ротором не рассчитаны на питание импульсным напряжением от преобразователя частоты. Из этого следует необходимость разработки системы электропривода, позволяющей

реализовать управление электродвигателя по цепи ротора с использованием принципов гибридного частотно-параметрического управления.

На рис. 1 представлена система электропривода, в которой в роторную цепь включается преобразователь частоты с частотно-зависимым индукционным сопротивлением. Индукционное сопротивление представляет собой массивное ферромагнитное тело, изменяющее свое эквивалентное сопротивление магнитной цепи в зависимости от частоты протекающей

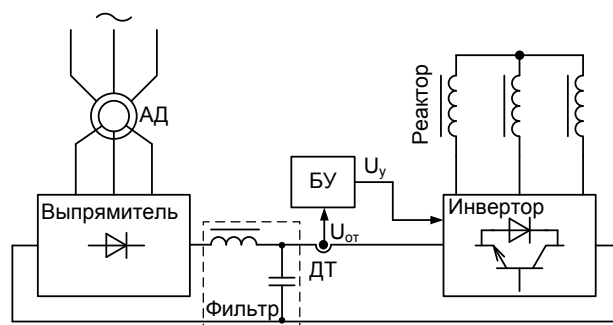


Рис. 1. Частотно-параметрический электропривод

щего через него тока [2]. При запуске электропривода частота тока на выходе инвертора устанавливается максимальной, что соответствует максимальному значению индукционного сопротивления и позволяет ограничить пусковой ток электродвигателя. По мере разгона с ростом скорости система управления инвертором уменьшает частоту выходного тока инвертора, обеспечивая поддержание тока в звене постоянного тока. При достижении скорости, близкой к скорости на естественной механической характеристике, частота тока на выходе инвертора устанавливается минимальной, что соответствует минимальному значению индукционного сопротивления [3].

Преимущество предлагаемого способа пуска асинхронного двигателя с фазным ротором заключается в:

- способности обеспечить плавный пуск, характеризующийся простотой реализации, регулируется только частота тока на выходе инвертора;
- стабилизации пускового момента электродвигателя за счет поддержания постоянства тока в звене постоянного тока.

Доклад подготовлен при поддержке гранта РФФИ № 17-48-480492 «Анализ, математическое моделирование и оптимизация управления электро-механическими системами с электроприводами переменного тока мехатронных устройств, манипуляторов и грузоподъемных механизмов».

Библиографический список

1. **Lesan S., Smiai M. S., Shepherd W.** Control of wound rotor induction motor using thyristors in the secondary circuits // Industry Applications Society Annual Meeting. 1996. V. 32. Is. 2. P. 335 – 344.
2. **Мещеряков В. Н., Финсеев А. А.** Система асинхронного электропривода с частотно-параметрическим управлением для крановых механизмов // Промышленная энергетика. 2004. № 6. С. 32–33.
3. **Муравьев А. А., Бойков А. И.** Системы управления асинхронной машиной с фазным ротором с вентильными преобразователями в цепи ротора // Материалы XII Междунар. научн.-практ. конф. «Современные сложные системы управления». Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2017. С. 159 – 163.

References

1. **Lesan S., Smiai M. S., Shepherd W.** Control of wound rotor induction motor using thyristors in the secondary circuits // Industry Applications Society Annual Meeting. 1996. V. 32. Is. 2. P. 335 – 344.
2. **Mescheryakov V. N., Fineev A. A.** Asynchronous electric drive system with frequency-parametric control for crane mechanisms. Industrial power engineering, 2004. N 6. P. 32–33.
3. **Muravyev A. A., Boikov A. I.** Sistemyi upravleniya asinhronnoy mashinoy s faznyim rotorom s ventilyimi preobrazovatelayami v tsepi rotora [Control systems of an asynchronous machine with a phase rotor with valve converters in the rotor circuit] // Materialy XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. «Sovremennyye slozhnyie esistemyi upravleniya» [Proceedings of the XII international scientific and practical conference: HTCS 17]. Lipetsk: Lipetsk State Technical University, 2017. P. 159 – 163.

УДК 620(075.8)

О. Н. Громова, доц., В. А. Латыпов, студент, Мин Мин Тхо, студент
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия,
e-mail: tapor27.1994@mail.ru)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Аннотация. Разработан алгоритм расчета параметров и выбора компонентов автономной фотоэлектрической энергетической установки, позволяющий выбрать лучший вариант установки для заданных условий.

Ключевые слова: солнечная панель, фотоэлектрическая установка.

O. N. Gromova, V. A. Latypov, Min Min Thaw
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

DESIGN AND CALCULATION OF AUTONOMOUS POWER PLANTS BASED ON PHOTOVOLTAIC CONVERTERS

Abstract. An algorithm for calculating the parameters and selecting the components of an Autonomous photovoltaic power plant, allowing you to choose the best installation option for the given conditions.

Index terms: solar panel, photovoltaic system.

В настоящее время внедрение возобновляемых источников энергии является перспективным направлением, позволяющим эффективно решать вопросы энергоснабжения в условиях дефицита энергии, получаемой от традиционных энергоносителей.

Объектом исследования в данной работе выбраны анализ и расчет автономной энергосистемы на солнечных батареях.

Расчет электростанции следует начинать с получения данных об интенсивности суммарного (прямого плюс рассеянного) солнечного излучения с учетом климатических и территориальных условий местности [1].

Затем на основании анализа нагрузок потребителей электрической энергии, характеристик солнечного излучения, периферийных устройств и преобразователей энергии Солнца в электроэнергию определяется структурная схема электростанции, позволяющая произвести расчет и выбор конкретных компонентов фотоэлектрической установки на основании учета их свойств.

При выборе инвертора следует учитывать номинальную и пиковую мощности потребления, выходное напряжение, сигнал на выходе, способ преобразования энергии, воз-

можность масштабирования и ряд других параметров.

Выбор модели и количества аккумуляторных батарей проводится на основе суммарной требуемой емкости, напряжения, допустимой глубины разряда и диапазона рабочих температур.

При выборе солнечных панелей принимаются во внимание такие характеристики, как размер, материал, мощность, напряжение номинальное и при пиковой мощности, ток при максимальной мощности, диапазон рабочих температур и срок эксплуатации.

Выбор контроллеров проводится в зависимости от значения входного напряжения, величины суммарной мощности солнечной энергии, характера подключаемой нагрузки.

Рассчитав расстояния между рядами солнечных панелей и параметры электрической схемы энергетической установки, можно определить маркировку и длину проводов и типы соединительных элементов.

На основе изложенных условий разработан алгоритм расчета параметров и выбора компонентов энергетической установки, позволяющий выбрать оптимальный для заданных условий эксплуатации вариант.

Библиографический список

1. Пчельникова-Громова О. Н., Мин М. Т. Оценка ресурсов солнечной энергии для снабжения наземных систем обеспечения полетов в республике Мьянма // Труды МАИ. 2016. № 91. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=75619>

References

1. Pchelnikova-Gromova O. N., Min M. T. Assessment of solar energy resources for the supply of ground-based flight systems in the Republic of Myanmar // Trudy MAI. 2016. № 91. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=75619>

УДК 62-838

Е. Н. Кутейникова, аспирант каф. «Системы приводов авиационно-космической техники»,
С. Л. Самсонович, д-р техн. наук, проф., науч. рук.,
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (государственный технический университет)»,
Москва, Россия, e-mail: e.kuteynikova@gmail.com)

АЭРОДИНАМИКА ПРИВОДА НА ОСНОВЕ ДИАМЕТРАЛЬНОЙ ЛОПАСТНОЙ МАШИНЫ

Аннотация. Рассмотрена проблема проектирования воздушно-динамического привода с использованием диаметральной лопастной машины, проведено численное моделирование для определения аэродинамических свойств привода и привода совместно с аэродинамической поверхностью, а также расчет управляющих усилий в различных режимах работы.

Ключевые слова: численное моделирование, диаметрально-лопастная машина, диаметральный вентилятор, воздушно-динамический привод, линии тока воздуха.

E. N. Kuteynikova, S. L. Samsonovich
(Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia)

AIR-DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A DRIVE BASED ON A CROSS-FLOW FAN

Abstract. Design of the air-dynamic drive using cross-flow fan. Numerical investigations was conducted to define air-dynamic parameters of the drive and of the drive and air-dynamic surface. Calculation of controlling influences was conducted in different modes.

Index terms: numerical simulation, impeller machine, cross-flow fan, air dynamic drive, streamlines.

Задача по разработке беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), обладающих лучшим аэродинамическим качеством, более эффективным энергопотреблением, лучшей управляемостью и маневренностью, включает в себя разработку новых приводов с лучшими характеристиками за счет использования новейшей техники или других законов управления и альтернативных источников питания. К последним можно отнести привод на основе диаметральной лопастной машины.

Конструктивно такой привод представляет собой лопастную машину, выполненную по типу диаметрального вентилятора, внутри которого размещен электродвигатель. Привод расположен

в канале воздухопровода таким образом, чтобы набегающий поток был перпендикулярен к оси лопастной машины. Управление полетом осуществляется изменением скорости вращения лопастной машины. От величины скорости и направления вращения зависят тяга истекающего потока, изменение лобового сопротивления, а также обтекание потоком аэродинамической поверхности.

Ранее [1] было проведено изучение конструктивных параметров привода и их влияние на выходные параметры привода. Следующим шагом является изучение работы привода и его влияние на аэродинамику при непосредственной установке в аэродинамическую поверхность.

Численное моделирование проведено в системе ANSYS-CFD. Для расчета была выбрана схема с диаметром турбинки в 200 мм и аэродинамическая поверхность толщиной в 35 мм. Выбранная компоновка по итогам расчета показала, что существенной проблемой является расположение двигателя внутри объемов турбинки: малый выделенный объем не позволяет вынести его дальше, а внутреннее размещение приводит к потерям в тяге и скачкам давления внутри и перед воздухозаборником. Увеличение тяги при росте скорости потока происходит по экспоненте и мало зависит от скорости двигателя (разница не более 5 %). Лобовое сопротивление больше зависит от скорости потока, чем от скорости вращения турбинки. Изменяя скорость вращения лопастной машины, удалось изменить сопротивления на 20 %. Одновременное управление значением вектора тяги и лобового сопротивления позволяет создать усилие, достаточное для управления БпЛА.

На этом этапе численное моделирование привода на основе диаметральной лопастной

машины позволило изучить общие принципы работы привода, установленного в аэродинамическую поверхность. Полученные результаты показывают, что представленный привод может использоваться для управления БпЛА.

Библиографический список

1. 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: сб. тр. XXVI Междунар. науч.-техн. конф., 14 – 20 сентября 2017 г., Алушта. М.: ИД «МЕДПРАКТИКА-М», 2017. 216 с.

References

1. Kutejnikova E. N., Samsonovich S. L. Numerical simulation of cross-flow fan and its application in aircrafts // Sovremennye tekhnologii v zadacha upravleniya, avtomatiki i obrabotki informacii: Sbornik trudov XXVI mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, 14 – 20 sentyabrya 2017 g., Alushta. M.: ID «MEDPRAKTIKA-M», 2017. 216 p.

УДК 629.78.05.062.036-533.6

А. Д. Бугрова, e-mail: a.d.bugrova@gmail.com, Р. И. Гуков, e-mail: gurov@laspace.ru,
И. В. Платов, канд. техн. наук, e-mail: aia@laspace.ru
(АО «НПО Лавочкина», Химки, Россия)

ДОРАБОТКА СТЕНДА ПРОВЕДЕНИЯ ОГНЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Аннотация. Представлены и определены задачи по развитию стендовой базы для наземной экспериментальной отработки при проведении огневых испытаний двигательных установок космических аппаратов производства АО «НПО Лавочкина» на примере посадочной автоматической межпланетной станции.

Ключевые слова: двигательная установка, огневые испытания, тепловой режим.

A. D. Bugrova, R. I. Gurov, I. V. Platov
(Lavochkin Association, Khimki, Russia)

MODIFICATION OF FIRING TESTS BENCH FOR PROPULSION SYSTEMS

Abstract. The paper presents and defines the development problems of the firing tests bench for spacecraft propulsion systems produced in Lavochkin Association using as an example the automatic landing interplanetary station.

Index terms: propulsion system, firing tests, thermal conditions.

В комплексную программу экспериментальной отработки двигательной установки (ДУ) автоматической межпланетной станции (АМС)

входят огневые испытания (ОИ) в условиях, приближенных к штатной эксплуатации, с измерением общего вектора тяги. Для проведения ОИ

Сравнение ДУ и условий ОИ для МКА и АМС

		МКА	АМС
Параметры ДУ	Тип	Однокомпонентная	Двухкомпонентная
	Количество двигателей (типов)	10 (1)	15 (4)
	Суммарная тяга	0,54 кгс	~650 кгс
	Масса («сухая»)	50,5 кг	275 кг
	Заправка	30,1 кг	1021 кг
Условия ОИ	Давление в камере сгорания	– в сеансах работы: от 20 до 40 мм рт. ст.; – в паузах: от 10^{-2} до 1 мм рт. ст.	– в сеансах работы: от 1 до 20 мм рт. ст.; – в паузах: от 10^{-2} до 1 мм рт. ст.
	Температурные условия	От +10 до +25 °С	– от –10 до +25 °С; – локальные криогенные экраны и инфракрасные нагреватели
	Тракты отвода продуктов реакции	Неохлаждаемые и негерметичные	Охлаждаемые и герметичные
	Измерение вектора тяги	Отсутствует	Совместно с бортовым регулятором тяги

ДУ АМС был выбран стенд 1Б ИС-101 (ФКП «НИЦ РКП», г. Пересвет), в котором ранее проходили ОИ ДУ малого космического аппарата (МКА). В целях имитации условий функционирования ДУ, входящей в состав АМС, возникла необходимость усовершенствования стенда и его доработки. Для сравнительного анализа и формулировки задач ОИ были сведены в таблицу ряд параметров ДУ, а также условия проведения самих испытаний.

Как видно из таблицы, при формировании задач по доработке стенда, с учетом существенных отличий характеристик ДУ и условий, значительное внимание должно быть уделено обеспечению теплового режима объекта испытаний, как залогом безаварийной работы и успешного выполнения программы испытаний ДУ АМС. Доработка стенда обеспечит возможность проведения ОИ подобных проектов АО «НПО Лавочкина» в будущем.

Библиографический список

1. Галеев А. Г. Основы устройства испытательных стендов для отработки жидкостных ракетных двигателей и двигательных установок. Пересвет: Изд-во ФКП «НИЦ РКП», 2010. 178 с.
2. Гуров Р. И., Платов И. В. Аспекты теплового режима однокомпонентной двигательной установки малого космического аппарата при огневых испытаниях в термобарокамере // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина. 2017. № 3. С. 27 – 36.

References

1. Galeev A. G. Osnovy ustrojstva ispytel'nyh stendov dlya otrabotki zhidkostnyh raketnyh dvigatelej i dvigatel'nyh ustanovok. Peresvet: Izd-vo FKP «NIC RKP», 2010. 178 s.
2. Gurov R. I., Platov I. V. Aspekty teplovogo rezhima odnocomponentnoj dvigatel'noj ustanovki malogo kosmicheskogo apparata pri ognevnyh ispytaniyah v termobarokamere // Vestnik NPO im. S. A. Lavochkina. 2017. № 3. С. 27 – 36.

УДК 004.942

А. С. Алексеенков, Ф. С. Беклемишев, В. И. Лалабеков, М. Н. Правидло, С. Л. Самсонович, К. М. Тихонов
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия)

АНАЛИЗ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ И ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА В СОСТАВЕ ГАЗОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАТАПУЛЬТИРОВАНИЯ

Аннотация. Исследованы на математической модели режимы работы газогидравлического устройства катапультирования при последовательной и параллельной работе источника энергии и исполнительного механизма.

Ключевые слова: газогидравлическая система катапультирования, последовательная работа, параллельная работа, источник энергии, исполнительный механизм.

A. S. Alekseyenkov, F. S. Beklemishev, V. I. Lalabekov, M. N. Pravidlo, S. L. Samsonovich, K. M. Tikhonov
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

ANALYSIS OF SEQUENTIAL AND PARALLEL OPERATION OF POWER SOURCE AND ACTUATORS PART OF THE GAS-HYDRAULIC EJECTION SYSTEM

Abstract. The operation modes of a gashydraulic ejection device are studied on a mathematical model in the sequential and parallel operation of an energy source and an actuator.

Index terms: gashydraulic bailout system, sequential operation, parallel operation, power source, actuator.

Среди многообразия вариантов технического решения задачи катапультирования наиболее перспективным вариантом выглядит газогидравлический вариант устройства катапультирования (КТПУ) груза [1]. Устройство катапультирования состоит из двух гидравлических толкателей, оснащенных пиротехническими газогидравлическими источниками энергии (ПГГИЭ) вытеснительного типа.

Разработанная в работе [1] математическая модель устройства катапультирования груза ограничена работой только гидравлического контура без учета динамики запуска и работы пиротехнического источника газовой энергии. Данное обстоятельство обуславливает работу исполнительного механизма – гидравлических толкателей при мгновенном образовании давления рабочей жидкости в газовой полости вытеснительного источника энергии, что не в полной мере соответствует штатной временной циклограмме реального механизма взаимодействия энергетического тракта привода с потребителем – гидравлическими толкателями. При этом не исследованы режимы работы катапультного устройства при последо-

вательной или параллельной работе источника энергии и исполнительного механизма – гидравлического толкателя сбрасываемого груза.

На основании законов сохранения массы газа и жидкости, баланса сил в исполнительной силовой части, описанных обыкновенными дифференциальными уравнениями [2], разработана математическая модель, позволяющая решать задачи анализа и синтеза параметров сложной газогидромеханической системы, которой является КТПУ.

Предлагаемая математическая модель обеспечивает решение задачи динамики непрерывного движения КТПУ с учетом параметрического взаимодействия элементов, включая ПГГИЭ, составляющих систему сброса груза ЛА:

- при параллельной (одновременной) работе ИЭ и ТЛК;
- при последовательной работе ИЭ и ТЛК.

Для принятых исходных данных, используемых в моделировании, показано, что время движения груза при параллельной работе ИЭ и ТЛК меньше, чем время движения груза при по-

следовательной работе ИЭ и ТЛК на 7,5 %, и составляет соответственно 0,074 и 0,079 с.

Определено, что на момент сброса груза выходные кинематические параметры КТПУ соответствуют допустимым требованиям, оговоренным в исходных данных, и составляют: $\tau_T = 0,079$ с – время движения толкателя; $h = 20$ см – ход толкателя; $dh/dt = 600...700$ см/с (по ТЗ ≥ 550 см/с) – скорость толкателя в момент сброса груза; $F = 2500...5000$ кГ – разброс сил в диапазоне действующих перегрузок $n = -1...-5$.

Показано, что влияние отрицательных перегрузок на груз снижает действующее со стороны груза на толкатель усилие, являясь попутным, увеличивая скорость толкателя в момент сброса на 5...10 % при переходе перегрузки с $n_1 = -1$ на $n_2 = -5$. Увеличение отрицательных перегрузок снижает скорость падения давления газа, повышая располагаемое усилие на поршне толкателя.

Разработанная математическая модель катапультного устройства сброса груза может быть

рекомендована для проведения анализа и параметрического синтеза на этапе проектно-конструкторских работ по созданию перспективных образцов КТПУ ЛА.

Библиографический список

1. Пресняков В. М., Правидло М. Н. Численное моделирование адаптивного авиационного катапультного устройства // Техника воздушного флота. 2001. Т. LXXV, № 3–4 (650-651). С. 66 – 75.
2. Лалабеков В. И., Прилипов А. В. Газогидравлические приводы органов управления летательных аппаратов. Основы разработки / ФГУП «НТЦ «Информтехника». 2012.

References

1. Presnyakov V. M., Pravidlo M. N. Numerical modeling of the adaptive aerial catapult device // Aircraft Engineering. 2001. V. LXXV, № 3–4 (650-651). P. 66 – 75.
2. Lalabekov V. I., Prilipov A. V. Gas-hydraulic actuators of controls of aircraft. Fundamentals of development / FGUP «Scientific and Technical Center «Informtekhnik». 2012.

УДК 620.179.1:658.58

А. В. Селихов, К. В. Подмастерьев, В. В. Мишин
(ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева», Орел, Россия)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ПОДВИЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАНСПОРТА

Аннотация. Рассмотрено внедрение электрорезистивного метода трибодиагностики как компонента автоматизированной системы контроля.

Ключевые слова: автомобиль, электрорезистивный, подшипник, нечеткая логика.

А. V. Selihov, K. V. Podmaster'yev, V. V. Mishin
(Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia)

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR AUTOMATED CONTROL OF MOVING PARTS OF VEHICLES

Abstract. The introduction of the electroresistive method of tribodiagnostics as a component of an automated control system.

Index terms: car, electrically resistive, bearing, fuzzy logic.

Конструирование автотранспорта невозможно без использования подшипниковых соединений различных видов, среди которых наи-

более ответственными являются ступичные подшипники. Внедрение современных технологий, своевременное выявление скрытых и раз-

визуализируемых дефектов позволяет сократить экономические и трудовые затраты на ремонт и восстановление.

Основным методом контроля ступичных подшипников в данный момент является вибрационный метод, более перспективным методом является электрорезистивный, основанный на измерении электрического сопротивления трибосопряжения.

Наиболее эффективным методом контроля является определение значения параметра нормированного интегрального времени микроконтактирования (НИВ), он позволяет определить режим трения и на основе этого сделать вывод о том, в каком состоянии находится подшипник [1]. Проведенные экспериментальные исследования показали, что сигнал сопротивления обладает теми же спектральными составляющими, что и сигнал виброускорения, позволяет применить теорию вибрационного метода для анализа дефектов подшипников к электрорезистивному методу [2]. Для этого необходимо измерять непосредственно сигнал электрического сопротивления и использовать его для расчета значения параметра НИВ.

Электрорезистивный метод обладает рядом преимуществ перед вибрационным: более широкий динамический диапазон измерений, простота и меньшая себестоимость изготовления первичных преобразователей, более удобный способ хранения, преобразования и передачи диагностического сигнала. Таким образом, системы автоматизированного контроля

на основе данного метода будут более эффективными.

Недостатком спектрального анализа сигналов является то, что характерные частоты, соответствующие тому или иному дефекту, могут иметь низкую энергетическую составляющую и будут слабо различимы, сдвиг по частоте, в данном случае нужно использовать математический аппарат на основе нечеткой логики, расширяющий возможности анализа сигналов, что повысит эффективность диагностирования.

Библиографический список

1. Подмастерьев К. В., Пахолкин Е. В., Мишин В. В. Измеритель параметров электрического контактирования ипэк-1 // Контроль. Диагностика. 2005. № 11. С. 7.
2. Селихов, А. В. Метод и средства диагностирования генератора автомобиля по параметрам электрического сопротивления смазочного слоя [Текст] // Мир транспорта и технологических машин. 2015. № 3. С. 34 – 45.

References

1. Podmaster'yev K. V., Pakholkin E. V., Mishin V. V. Measuring instrument for electrical contacting parameters Ipek-1 // Control. Diagnostics. 2005. № 11. P. 7.
2. Selikhov, A. V. Method and means of diagnosing a car generator from the parameters of the electrical resistance of a lubricating layer [Text] // The world of transport and technological machines. 2015. № 3. P. 34 – 45.

И. С. Климов, М. А. Миронова, Ю. М. Пименов, Р. О. Шайкин
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт»,
Москва, Россия, e-mail: Klimuch_98@mail.ru)

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ МУЛЬТИРОТОРНОЙ ПЛАТФОРМОЙ С РАЗДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Аннотация. Целью данной работы является рассмотрение возможных и наиболее эффективных вариантов управления мультироторной платформой с непосредственным разделением функций управления подъемной силой и угловой стабилизацией (разделенная нагрузка).

Ключевые слова: мультироторная платформа, разделенная нагрузка.

I. S. Klimov, M. A. Mironova, Yu. M. Pimenov, R. O. Shaikin
(Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia)

FEATURES OF MULTI-ROTOR PLATFORM WITH SPLIT LOAD

Abstract. The purpose of this paper is to consider the possible and most effective control options for a multi-rotor platform with a direct separation of the functions of controlling the lift and angular stabilization (divided load).

Index terms: multi-rotor platform, split load.

В последнее время остро стоит вопрос о повышении полетного времени мультироторных платформ [1]. Ограничение полетного времени в основном связано с типом энергоносителя – литий-полимерного аккумулятора [2]. Плотность энергии в данном накопителе намного ниже, чем у бензина и водородного топлива. Исходя из этого, часто выдвигаются проекты с попыткой исключить литий-полимерные аккумуляторы из схемы копитера и заменить их более энергоэффективным типом накопителя [3].

Авторами предпринята попытка создать такую мультироторную платформу, чтобы ее полетное время было выше аналогов. Так как для управления мультироторной платформой требуется быстрое реагирование на любое воздействие (от окружающей среды или от пилота), то невозможно отказаться от электрических двигателей. Также была рассмотрена следующая схема мультироторной платформы: ДВС передает крутящий момент на вал генератора, который в свою очередь обеспечивает энергией всю электронику ЛА. Но в таком варианте будут значительные потери на связке ДВС–генератор. Намного эффективнее разделить нагрузку на разные типы двигателей: электрические двигатели, обеспечивающие управляющий момент, и ДВС, создающий основную тягу для поднятия системы в воздух.

При создании модели было математически выявлено и экспериментально подтверждено, что при создании мультикопитера большого размера и большой массы стандартного типа управления по рысканью недостаточно. Для устранения этого недостатка было решено изменить контур управления ЛА по рысканью, а именно – исключить из алгоритма управления по рысканью моторы ЛА и добавить руль направления.

Библиографический список

1. Ерохин Е., Коломиец А. Мультикопитеры: новый вид [Электронный ресурс]. URL: <http://uav.ru/articles/multicopters.pdf> (дата обращения: 7.02.2018).
2. Хрусталева Д. А. Аккумуляторы. М.: Изумруд, 2003.
3. Гуля Н. В. Накопители энергии. М.: Наука, 1980.

References

1. Erokhin E., Kolomiets A. Multicopters: a new kind [Electronic resource]. URL: <http://uav.ru/articles/multicopters.pdf> (reference date: 7.02.2018).
2. Khrustalev D. A. Accumulators. M.: Izumrud, 2003.
3. Gulia N. V. Energy storage devices. M.: Nauka, 1980.

Д. А. Гусев
(ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия)

СИНТЕЗ КВАЗИОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЛЕДЯЩИМ ПРИВОДОМ С НЕЖЕСТКОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО НАГРУЖАЮЩЕГО СТЕНДА

Аннотация. На основе линеаризованной модели третьего порядка следящей системы автоматизированного стенда разработан квазиоптимальный алгоритм управления. Проанализированы результаты применения разработанного алгоритма на модели исполнительного двигателя следящей системы электрического следящего привода. Приведена функциональная схема микропроцессорной системы управления стенда на базе ядра Cortex-M3. Предложено двухуровневое программное обеспечение автоматизированного стенда.

Ключевые слова: квазиоптимальный алгоритм, электрический следящий привод, нежесткая механическая передача.

D. A. Gusev
(Tula State University, Tula, Russia)

SYNTHESIS OF A QUASI-OPTIMAL CONTROL ALGORITHM FOR AN ELECTRIC SERVO DRIVE WITH A NON-RIGID MECHANICAL TRANSMISSION FOR AN AUTOMATED LOADING STAND

Abstract. A quasi-optimal control algorithm is developed based on the linearized third-order model of the tracking system of an automated stand. The results of application of the developed algorithm on the model of the executive motor of the servo system of the electric servo drive are analyzed. The functional scheme of the microprocessor control system of the stand based on the Cortex-M3 core is given. Two-level software of the automated stand is proposed.

Index terms: quasi-optimum algorithm, electric servo drive, non-rigid mechanical transmission.

Повышение быстродействия системы в условиях ограничений, накладываемых существующими источниками энергии, является актуальной задачей в сфере, близкой к авиации, космической промышленности и военной отрасли. Одним из способов решения подобных проблем является синтез оптимального по быстродействию алгоритма управления. Однако вследствие ряда причин, включающих использование упрощенных моделей при синтезе и неидеальность технических средств, в реальных системах возможна реализация только квазиоптимального управления.

В статье рассмотрено формирование закона управления для следящей системы электрического силового привода с малоинерционным исполнительным двигателем (ИД) нежесткой механической передачей (МП). Для полной математической модели данной системы, имеющей

девятый порядок, составлена эквивалентная упрощенная структурная схема силовой системы привода.

На основе анализа поведения следящей системы в переходных режимах составлена упрощенная модель пятого порядка, учитывающая инерционность нагрузки и нежесткость МП.

Первый этап данной работы завершился построением эквивалентной линеаризованной модели третьего порядка, состоящей из апериодического звена второго порядка и интегратора.

Вследствие того, что одна из постоянных времени апериодического звена линеаризованной системы более чем на порядок меньше другой, малую постоянную времени на первом этапе синтеза не учитывали. Для объекта второго порядка, состоящего из апериодического звена и интегратора, построена линия переключения и определен базовый закон управления.

На основе анализа отработки входного сигнала синтезированным алгоритмом управления с эквивалентной линеаризованной системой третьего порядка сделан вывод о необходимости учета малой постоянной времени объекта управления при нахождении закона управления. Малая постоянная времени учитывалась как запаздывание, на которое отстает управляющее воздействие. Скорректированный закон управления испытан на исходной модели ИД без нагрузки и показал хорошие результаты при отработке ступенчатого входного сигнала.

На третьем этапе синтеза для уменьшения ошибки слежения за нарастающим и синусоидальным сигналами скорректированы выражения для расчета фазовых координат силовой системы привода. За фазовые координаты приняты величины ошибок отработки входного сигнала, скорости входного сигнала и ускорения. Разработанный закон управления позволил обеспечить слежение ИД за изменяющимся во времени сигналом с высокой точностью. Предложенный алгоритм использован для коррекции системы, состоящей из ИД и высокоинерционной нагрузки. Согласно полученным результатам проведена дополнительная коррекция алгоритма управления путем модификации линии переключения для учета нежесткости высокоинерционной МП.

Для отработки алгоритмов управления в нагружающем стенде предложена микропроцессорная система на основе микроконтроллера серии 1986BE9х производства ПАО ПКК «Милан-

дер» с высокопроизводительным процессорным RISC ядром ARM Cortex-M3.

Разработанная микропроцессорная система выполняет следующие функции: прием и обработка данных с датчиков положения и скорости, формирование управляющих сигналов, обработка аналогового сигнала с датчика тока, обмен данными с внешними блоками, отправка телеметрических данных на персональный компьютер и прием команд от специализированного программного обеспечения (ПО) верхнего уровня.

ПО нижнего уровня управляет силовыми ключами, а также отвечает за прием и обработку данных микроконтроллером. ПО верхнего уровня обеспечивает возможность выбирать необходимый алгоритм управления и настраивать параметры стенда с помощью персонального компьютера.

Библиографический список

1. **Иванов В. А., Фалдин Н. В.** Теория оптимальных систем автоматического управления. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. 336 с.
2. **Рабинович Л. В.** Динамика следящих приводов. М.: Машиностроение; 1982. 496 с.

References

1. **Ivanov V. A., Faldin N. V.** Theory of optimal automatic control systems. M.: Science. Main edition of physics and mathematics, 1981. 336 p.
2. **Rabinovich L. V.** The dynamics of servomechanisms. M.: Mechanical engineering, 1982. 496 p.

П. Ю. Григоров, Н. В. Куланов, д-р техн. наук
(ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»),
Москва, Россия, e-mail: pygrigorov@2100.gosnias.ru)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ СУДНОМ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЦЕПЦИИ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ДИНАМИКИ

Аннотация. Представлены результаты формирования управляющих функций для математической модели движения воздушного судна на основе методов обратных задач динамики. Исследована возможность построения алгоритмов, обеспечивающих решение основных задач вертикальной навигации. Приведены результаты моделирования этапа взлет воздушного судна с использованием разработанных алгоритмов.

Ключевые слова: автоматическое управление, вертикальная навигация, обратные задачи динамики.

P. Yu. Grigorov, N. V. Kulanov
(State Research Institute of Aviation Systems, Moscow, Russia)

DEVELOPMENT OF AIRCRAFT CONTROL ALGORITHMS FOR SOLVING VERTICAL NAVIGATION PROBLEMS USING THE CONCEPT OF INVERSE DYNAMICS

Abstract. The report presents the results of the formation of control commands for the mathematical model of the aircraft movement based on the methods of inverse dynamics. The possibility of constructing algorithms for solving the main problems of vertical navigation is studied. The results of the aircraft take-off phase modeling using the developed algorithms are presented.

Index terms: automatic control, vertical navigation, inverse dynamic.

Создание и модернизация бортового оборудования и систем самолетов гражданской авиации базируются на внедрении новейших достижений научно-технического прогресса. На их основе создаются различные системы обеспечения безопасности, повышения эффективности и оптимизации режимов полета. К числу таких систем относится система самолетовождения, содержащая подсистемы горизонтальной и вертикальной навигации. Понятие горизонтальной навигации достаточно известно, но вопросы управления в горизонтальной плоскости до сих пор являются предметом изучения [1, 2]. Вертикальная навигация является относительно новым направлением и используется в узком кругу специалистов.

В общем случае в понятие вертикальной навигации входит решение следующих задач:

– формирование высотно-скоростного профиля полета воздушного судна (ВС);

– определение прогнозных значений отдельных параметров полета ВС от текущей до других заданных точек траектории;

– формирование воздействий в бортовую систему управления (БСУ), обеспечивающих движение ВС по заданной траектории.

Решение этих задач проводится непрерывно вдоль принятого плана полета при заданных аэродинамических характеристиках ВС, характеристиках его двигателя, а также с учетом текущего состояния атмосферы. Решение задачи должно удовлетворять некоторым специфическим требованиям:

– возможность решения основных задач при изменении плана полета с учетом указаний службы управления воздушным движением (УВД) и вводимых пилотом данных;

– возможность изменения критериев эффективности (стоимость, время и пр.) полета в целом, так и его отдельных этапов;

– выполнение всех необходимых расчетов для обеспечения экипажа текущей информацией и формирование в БСУ необходимых воздействий.

В создании программно-алгоритмического обеспечения системы вертикальной навигации важное место занимает вопрос построения математических моделей движения ВС и алгоритмов управления, позволяющих решать поставленные задачи с учетом указанных требований. Эффективным методом получения управления в форме синтеза является метод обратных задач динамики, описанный П. Д. Крутько. Данный подход используется для разработки математической модели движения ВС на типовых участках его полета. Сущность этого подхода в данном случае состоит в том, что задается закон изменения фазовой переменной уравнений движения и находятся соответствующие уравнения для управляющих функций (тяга, угол атаки и пр.). В качестве фазовых переменных рассматриваются высота H , воздушная и приборная скорости V , V_{CAS} и число M .

Библиографический список

1. Рыбников С. И., Нгуен Т. Ш. Повышение точности управления боковым движением среднемагистрального самолета с использованием калмановского наблюдателя знакопеременного ветрового возмущения // Труды МАИ. 2018. № 98.

2. Репин А. И., Кашкина Т. И. Особенности применения минимаксных операций для управления боковым движением самолета // Вестник Московского авиационного института. 2018. № 1.

References

1. Rybnikov S. I., Nguyen T. Sh. Povysheniye tochnosti upravleniya bokovym dvizheniyem srednema-gistral'nogo samoleta s ispol'zovaniyem kalmanovskogo nablyudatelya znakoperemennogo vetrovogo vozmushcheniya // Trudy MAI. 2018. № 98.

2. Repin A. I., Kashkina T. I. Osobennosti primeneniya minimaksnykh operatsiy dlya upravleniya bokovym dvizheniyem samoleta // Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta. 2018. № 1.

УДК 681.3+004.93'1+004.052

В. М. Новичков, e-mail: v13217@ya.ru, Н. И. Филинов, e-mail: nikityo18@gmail.com
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ САМОЛЕТА

Аннотация. Современные требования к надежности и техническому обслуживанию самолетов требуют установки на них бортовой системы технического обслуживания (БСТО). Современная отечественная БСТО должна быть построена с применением улучшенных алгоритмов автоматического контроля и диагностики технического состояния бортовых систем самолета. Такая БСТО позволит сократить время и материальные затраты на ТО и Р за счет повышения доли автоматически определяемых неисправностей и отказов.

Ключевые слова: алгоритмы, автоматический контроль, диагностика.

V. M. Novichkov, N. I. Filinov
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

CONDITION MONITORING AND DIAGNOSIS SUPPORT IN AUTOMATIC MODE OF PLANE ONBOARD SYSTEMS

Abstract. Modern requirements for reliability and maintenance of aircraft require the installation of onboard maintenance system (OMS). Modern domestic OMS built using improved algorithms for automatic condition monitoring and diagnosis of aircraft onboard systems. This OMS will reduce the time and material costs of maintenance and repair by increasing the proportion of automatically detected faults and failures.

Index terms: algorithms, automatic condition monitoring, diagnosis.

Рост требований к регулярности и безопасности полетов и усложнение условий эксплуатации бортовых систем привели к необходимости

установки на борту самолетов систем сбора и локализации отказов, на смену которым пришла современная БСТО. Согласно ARINC 624 БСТО

служит для слежения за отказами и поиска неисправностей с помощью оборудования встроенного контроля (ВСК) путем доступа к нему вместо используемой ранее на самолетах системы контроля его состояния (бортовой системы сбора данных). В настоящее время все больше внимания уделяется именно функциональной надежности бортового оборудования, а не надежности отдельных систем и блоков [1 – 3].

В области динамики развития неисправностей авиационной техники одной из задач исследований является выявление возможностей для максимального сокращения числа отказов и неисправностей. В этом случае важную роль играет способность новых средств переводить внезапные отказы в постепенные, что дает возможность автоматического слежения за техническим состоянием систем и агрегатов, управляемых с помощью электроники, и открывает преимущества раннего диагностирования для долгосрочного прогнозирования состояний авиационной техники.

Для проведения анализа технического состояния в соответствии с ГОСТ 30848–2003, как правило, необходимо выполнить следующие операции: установить цель анализа; поставить задачу и определить стратегию анализа; сконструировать конфигурацию (пространственное расположение, компоновку) аппаратуры и определить рабочие условия; получить данные; разработать и выполнить алгоритмы поиска и анализа; провести анализ и интерпретацию результатов. Анализ технического состояния проводится для выявления сущности, закономерностей, тенденций, причин процессов деградации оборудования на основании мониторинга его технического состояния в целях прогнозирования, планирования, коррекции, управления и принятия решений.

Согласно ГОСТ Р ИСО 13372–2013 под контролем (технического) состояния понимается сбор и обработка данных, характеризующих техническое состояние бортовых систем в разные моменты времени. Считается, что техническое состояние ухудшается при появлении неисправностей и отказов. Диагностирование – это анализ диагностических признаков или комплексов диагностических признаков в целях опреде-

ления природы неисправности или отказа (вида, места, степени развития). Под отказом понимают утрату объектом способности выполнять требуемую функцию, он является событием в отличие от неисправности, которая является состоянием, и он также является следствием неисправности. Изучая природу возникновения предположений для отказов и неисправностей и используя соответствующую комплексную обработку диагностических признаков, можно построить алгоритмы для проведения автоматической диагностики технического состояния бортовых систем самолета. Для этого надо, чтобы БСТО содержала базу данных неисправностей (т.е. библиотеку диагностических признаков неисправностей), в которой будут храниться совокупности признаков, характеризующие наступление неисправностей определенных узлов или самолета в целом.

Важно, чтобы функции БСТО обеспечивали высокий, но не дорогой уровень автоматического определения, локализации (изоляции) и индикации неисправностей и отказов. Это также в дальнейшем позволит упростить ремонт и обслуживание тех систем, где применение средств автоматики невыгодно. В связи с этим все функциональные требования к БСТО разбиваются на категории: автоматическая изоляция неисправностей и отказов; определение целостности системы; электронная документация по ТО; система мониторинга состояния самолета; функция событий. При таком подходе при использовании БСТО для доступа к ВСК контролируемых систем не потребуются никакой переносной документации, такой как, например, карточки и памятки.

При техническом обслуживании и ремонте (ТО и Р) помимо плановых профилактических работ проводятся работы по обнаружению и устранению уже обнаруженных отказов и повреждений. Согласно ГОСТ–18322 система ТО и Р – это совокупность взаимосвязанных средств, документации ТО и Р и исполнителей, необходимых для поддержания качества изделий, входящих в эту систему. Обеспечение работ по ТО и Р информацией о существующих отказах и неисправностях, предоставляемой с помощью БСТО, хранящей результаты автоматического

контроля и диагностики технического состояния бортовых систем, позволит сократить время и материальные затраты на ТО и Р за счет повышения доли автоматически определяемых неисправностей и отказов (видов, мест и степени развития). Таким образом, будет легче поддерживать заданные уровни надежности и готовности бортовых систем в ожидаемых условиях эксплуатации с возможностью сокращения трудозатрат, затрат времени и материальных средств.

Библиографический список

1. Грибов В. М., Кофанов Ю. Н., Стрельников В. П. Оценивание и прогнозирование надежности бортового аэрокосмического оборудования / под отв. ред. Ю. Н. Кофанова. М.: НИУ ВШЭ, 2013. 496 с.

2. Кофанов Ю. Н. Моделирование и обеспечение надежности технических систем: научное издание. М.: Энергоатомиздат, 2011. 324 с.

3. Шубинский И. Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа. Ульяновск: Печатный двор, 2012. 296 с.

References

1. Gribov V. M., Kofanov Yu. N., Strel'nikov V. P. Ocenivanie i prognozirovanie nadyozhnosti bortovogo aehrokozmičeskogo oborudovaniya / pod otv. red. Yu. N. Kofanova. M.: NRU HSE, 2013. 496 p.

2. Kofanov Yu. N. Modelirovanie i obespechenie nadyozhnosti tekhnicheskikh sistem: nauchnoe izdanie. M.: Energoatomizdat, 2011. 324 p.

3. Shubinsky I. B. Funktsional'naya nadezhnost' informatsionnykh sistem. Metody analiza. Ul'y'yanovsk: Pechatnyj dvor, 2012. 296 p.

УДК 627.7.067

Г. Н. Лебедев, А. П. Москалев, А. Н. Негодин
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт», Москва, Россия, e-mail: kaf301@mai.ru)

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАЗБЕГА ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНЫ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА САМОЛЕТНОГО ТИПА

Аннотация. Автоматический взлет беспилотного летательного аппарата является одним из ответственных этапов полета, в том числе разбег на дистанции ограниченной длины. С учетом условий возрастающего риска безопасного отрыва от земли при действии ветра и повышенного сухого трения колес шасси найдено «окно» безопасного взлета. Это позволяет сформировать алгоритм автоматической оценки коэффициента опасности взлета при разбеге.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, контроль безопасности разбега, коэффициент опасности, автоматический взлет.

G. N. Lebedev, A. P. Moskaev, A. N. Negodin
(Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia)

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR THE SAFETY OF THE RUN-UP OF A LIMITED LENGTH OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

Abstract. Automatic take-off of an unmanned aerial vehicle is one of the crucial stages of the flight, including a run operation on a limited-distance course. Taking into account the conditions of increasing risk of safe separation from the ground under the influence of wind and increased dry friction of the chassis wheels, a safe take-off «window» was found. This allows us to generate an algorithm for automatically estimating the take-off danger coefficient during takeoff.

Index terms: unmanned aerial vehicle, run safety control, danger coefficient, automatic take-off.

Одним из наиболее ответственных этапов полета является взлет, при котором к числу мешающих факторов относятся повышенная сила трения колес шасси при разбеге по грунту, сила лобового сопротивления, сила бокового ветра и

недостатки действий летчика как при пробеге, так и после отрыва от земли [1]. В данной работе предлагается подход, основанный на автоматизации контроля безопасности разбега при оценке соответствующих рисков, возникающих при не-

достаточном ускорении разбега и малой длине оставшегося пути пробега по земле.

При выборе математической модели оценки опасности в данной работе используется тот факт, что по мере увеличения времени задержки в начале взлета, при попадании в «окно» у оператора возникает ощущение нарастания тревоги. Этот процесс количественно можно аппроксимировать коэффициентом опасности $P_{взл}$, меняющимся от нуля до единицы внутри этого окна.

Получены формулы определения границ окна успешного взлета, гарантирующего минимальный риск. Показано, что при ухудшении качества грунта размеры этого «окна» пропорционально уменьшаются.

Работа выполнена при материальной поддержке грантов РФФИ № 18-08-00079а и № 18-08-00463а.

Библиографический список

1. **Современные** подходы к проектированию систем управления беспилотными летательными аппаратами / Г. Н. Лебедев, Д. А. Михайлин, Е. С. Неретин, Е. М. Лунев, Д. В. Курмаков. М.: МАИ, 2015. 132 с.

References

1. Modern approaches to the design of control systems for unmanned aerial vehicles / G. N. Lebedev, D. A. Mikhaylin, E. S. Neretin, E. M. Lunev, D. V. Kurmakov. M.: MAI, 2015. 132 p.

УДК 004.724.4(045)

Г. Н. Лебедев, Д. А. Михайлин, О. Ю. Царева, В. И. Гончаренко
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт», Москва, Россия, e-mail: kaf301@mai.ru)

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МАРШРУТИЗАЦИИ ПОЛЕТА ГРУППЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ СОБЛЮДЕНИИ ЗАДАННОГО ГРАФИКА НАБЛЮДЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ПУНКТОВ

Аннотация. Решается задача маршрутизации полета группы беспилотных летательных аппаратов при наблюдении особого класса мобильных наемных объектов «в нужное время и в нужном месте», для которых задан график их наиболее удачного обслуживания. Показано, что с учетом указанных ограничений наиболее эффективным является генетический алгоритм. Результаты моделирования подтвердили возможность получения решения многокритериальной задачи за малое число шагов эволюции.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, маршрутизация, генетический алгоритм.

G. N. Lebedev, D. A. Mikhailin, O. Yu. Tsareva, V. I. Goncharenko
(Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia)

THE SOLUTION OF THE TASK OF ROUTING THE FLIGHT OF A GROUP OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN COMPLIANCE WITH THE SPECIFIED SCHEDULE OF OBSERVATION OF GROUND POINTS

Abstract. The problem of flight routing of a group of unmanned aerial vehicles is solved when observing a special class of mobile hired objects «at the right time and in the right place», for which the schedule of their most successful service is set. It is shown that taking into account these restrictions the most effective is the genetic algorithm. The simulation results confirmed the possibility of solving a multi-objective problem in a small number of steps of evolution.

Index terms: unmanned aerial vehicle, routing, genetic algorithm.

При выборе каждого БЛА пунктов, требующих соблюдения заданного графика, считается, что оно достижимо при перелете из любого другого пункта, и если есть на это запас вре-

мени, то это не ухудшает картины эффективности. Если же его нет, то назовем такую пару пунктов «неудобной», что требует привлечения дополнительного БЛА для их наблюдения. По-

этому решение поставленной задачи состоит из ряда этапов.

Показано, что задача многомерной маршрутизации требует выполнения двух операций – выбора части объектов, подлежащих ближайшему наблюдению, и распределения их между группой БЛА. Для каждой операции установлены свои правила в виде соответствующих эвристических алгоритмов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 17-29-03185, № 16-08-00832а.

Библиографический список

1. Лебедев Г. Н., Гончаренко В. И., Румакина А. В. Модификация метода ветвей и границ для двумерной маршрутизации координированного полета группы летательных аппаратов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. Т. 17, № 11. С. 783 – 791.

References

1. Lebedev G. N., Goncharenko V. I., Romakina A. V. Modification of the method of branches and boundaries for two-dimensional routing in a coordinated flight of a group of aircrafts // Mechatronics, automation, control. 2016. V. 17, № 11. P. 783 – 791.

УДК 681.501

М. А. Шатский, М. Ю. Косинский, Д. В. Исаев
(МОКБ «Марс», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
Москва, Россия, e-mail: isaev.zever@yandex.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ И ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Аннотация. Проведено исследование влияния частоты дискретизации цифровой системы стабилизации и ориентации космического аппарата на качество ее функционирования в условиях ограничения производительности вычислительных устройств.

Ключевые слова: система стабилизации и ориентации, космический аппарат, частота дискретизации.

М. А. Shatskiy, M. Yu. Kosinskiy, D. V. Isaev
(Design Bureau «Mars», National Research University «MPEI», Moscow, Russia)

RESEARCH OF SAMPLING FREQUENCY VARIATION INFLUENCE ON THE CHARACTERISTICS OF THE DIGITAL STABILIZATION AND ORIENTATION SYSTEM OF THE SPACECRAFT

Abstract. The affect of the sampling frequency variation in the digital stabilization and orientation system of the spacecraft on the quality of its functioning is explored in the paper.

Index terms: stabilization and orientation system, spacecraft, sampling frequency.

Одной из важнейших систем космического аппарата (КА) является система стабилизации и ориентации (ССО). К подобным системам предъявляются высокие требования по точности. Данная система компенсирует влияние возмущающих факторов, которые могут иметь самое разнообразное происхождение, величину и продолжительность действия [2]. Современные ССО, как правило, являются цифровыми.

При построении цифровой системы важной задачей является выбор величины частоты дискретизации, что существенно влияет на точность ее работы. Сложность выбора частоты дискретизации в замкнутых системах объясняется тем, что она зависит как от динамических свойств непрерывной части системы и предъявляемых требований к замкнутой системе, так и от выбранной структуры цифрового алгоритма управления.

Традиционно выбор частоты дискретизации может быть осуществлен на основе выполнения условий теоремы Котельникова с учетом запасов. Однако этот способ выбора частоты, как правило, приводит к завышенным требованиям к быстродействию БЦВМ, так как в его основе лежит условие минимальных искажений частотного спектра при прохождении его через импульсную цепь.

На практике более рациональным способом выбора частоты представляется исследование ее влияния на устойчивость и качество переходных процессов. Для этого проведено моделирование функционирования ССО с частотами дискретизации разной величины. Исследованы показатели качества работы системы. В результате произведен выбор компромиссной величины частоты дискретизации, позволяющей, с одной стороны, учесть ограничения по быстродействию бортового вы-

числителя, а с другой стороны, обеспечить приемлемое качество функционирования системы.

Библиографический список

1. Теряев Е. Д., Шамриков Б. М. Цифровые системы и поэтапное адаптивное управление. М.: Наука, 1999.
2. Бровкин А. Г., Бурдыгов Б. Г., Гордийко С. В. Бортовые системы управления космическими аппаратами. 2010.

References

1. Teryev E. D., Shamrikov B. M. Cifrovye sistemy i poehtapnoe adaptivnoe upravlenie. M.: Nayka, 1999.
2. Brovkin A. G., Burdygov B. G., Gordijko S. V. Bortovye sistemy upravleniya kosmicheskimi apparatami. 2010.

УДК 51-74; 527.62

А. С. Муравьева, студентка каф. прикладной механики и управления, e-mail: anka10508@mail.ru
(Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТА ПО МНОГОЧАСТОТНЫМ ФАЗОВЫМ СПУТНИКОВЫМ НАВИГАЦИОННЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

Аннотация. Рассмотрена задача определения ориентации с помощью фазовых спутниковых навигационных одночастотных измерений GPS и многочастотных измерений GLONASS на примере обработки реальных данных.

Ключевые слова: спутниковые навигационные измерения, GPS, GLONASS, многочастотные фазовые измерения, метод LAMBDA.

A. S. Muravyeva
(Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia)

ATTITUDE DETERMINATION USING MULTI-FREQUENCY SATELLITE NAVIGATION CARRIER PHASE MEASUREMENTS

Abstract. The paper presents a case study of the determination the coordinates of a baseline vector between two GNSS receiving antennas using phase satellite navigation single-frequency GPS measurements and multi-frequency GLONASS measurements.

Index terms: satellite navigation measurements, GPS, GLONASS, multi-frequency phase measurements, LAMBDA method.

Рассматривается задача определения ориентации вектора, соединяющего две антенны, принимающие спутниковые навигационные сигналы GPS и ГЛОНАСС. Определение ориентации сводится к определению относительных координат

этих антенн. При этом фазовые измерения потенциально позволяют оценить эти координаты с точностью в пределах сантиметра. Однако особенностью фазовых измерений является наличие в них так называемой фазовой неопреде-

ленности – неизвестное целое число полных периодов колебаний несущей радиоволны. При применении соответствующих алгоритмов оценки свойство целочисленности фазовых неопределенностей позволяет найти их точные значения. При этом для сходимости оценки к точным значениям требуется некоторое время. Кроме того, соответствующие алгоритмы являются очень чувствительными к измерительным погрешностям. Традиционно в задачах спутниковой навигации используются так называемые первые и вторые разности фазовых измерений, в которых сокращаются многие существенные составляющие погрешностей. Однако при частотном разделении сигналов, принятом в системе ГЛОНАСС, каждому измерению соответствует своя длина волны, и при составлении разностей все измерения требуется комбинировать специальным образом.

В работе приведены результаты обработки смешанных навигационных спутниковых одночастотных и многочастотных измерений GPS и ГЛОНАСС реального эксперимента. Показано, что оценки фазовых неопределенностей сходятся значительно быстрее в случае совместной обработки одночастотных и многочастотных измерений GPS/ГЛОНАСС по сравнению с использованием только сигналов GPS. В имеющихся экспериментальных данных время сходимости уменьшилось с 50 до 5 с. Полученная по многочастотным и одночастотным измерениям оценка длины вектора, соединяющего антенны, точнее соотносится с реальной длиной и имеет ошибку порядка первых миллиметров.

Библиографический список

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. М.: МГУ, 2009. 96 с.
2. **P. de Jonge, Tiberius C. C. J. M.** The LAMB-DA method for integer ambiguity estimation: implementation aspects / Publications of the Delft Geodetic Computing Centre. № 12. Технологический университет. Делфт, Нидерланды, 1996. 59 с.
3. **Козлов А. В.** Некоторые методы и алгоритмы определения ориентации при помощи инерциальных и спутниковых навигационных систем, канд. дисс. М.: 2010. 94 с.
4. **Leick A., Rappoport L., Tatarnikov D.** GPS satellite surveying, 4 the dition. Нью-Йорк, John Wiley& Sons, 2015. 840 с.

References

1. **Vavilova N. B., Golovan A. A., Parusnikov N. A., Trubnikov S. A.** Matematicheskie modeli i algoritmy obrabotki i zmereniy sputnikovoy navigatsionnoy sistemy GPS. Standartnyy rezhim. M.: MSU, 2009. 96 p.
2. **P. de Jonge, Tiberius C. C. J. M.** The LAMB-DA method for integer ambiguity estimation: implementation aspects / Publications of the Delft Geodetic Computing Centre. № 12. Delft University of Technology, Netherlands, 1996. 59 p.
3. **Kozlov A. V.** Nekotorye metody i algoritmy opredeleniya orientatsii pri pomoshchi inertsiyalnykh i sputnikovykh navigatsionnykh sistem, PhD diss. M.: 2010. 94 p.
4. **Leick A., Rappoport L., Tatarnikov D.** GPS satellite surveying, 4th edition. New-York, John Wiley& Sons, 2015. 840 p.

УДК 531.1:62-50

А. В. Лебедев, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., e-mail: antohal@gmail.com,
В. О. Кеда, студент каф. прикладной механики и управления, e-mail: vladislavkeda@gmail.com
науч. рук. – д-р физ.-мат. наук, проф. **С. С. Лемак**, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. **А. В. Лебедев**
(Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УГЛОВОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ СПУТНИКА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НАИХУДШИХ ВОЗМУЩЕНИЙ ВО ВРЕМЯ КОРРЕКЦИИ ОРБИТЫ

Аннотация. Рассмотрен процесс угловой стабилизации малого спутника относительно орбитальной системы координат при воздействии возмущений, возникающих во время работы маршевых двигателей, осуществляющих коррекцию параметров орбиты спутника. Приведен расчет оптимальных значений параметров обратной связи в контуре стабилизации углового движения с помощью решения минимаксной задачи.

Ключевые слова: спутник, угловая стабилизация, коррекция орбиты, минимаксная оптимизация.

A. V. Lebedev, V. O. Keda
(Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia)

OPTIMIZING THE SATELLITE'S ATTITUDE STABILIZATION PROCESS UNDER WORST DISTURBANCES DURING ORBITAL CORRECTION

Abstract. The process of angular stabilization of a small satellite relative to the orbital coordinate system under the influence of perturbations arising during the operation of marching engines that correct the parameters of the satellite's orbit is considered. The optimal values of feedback parameters in the stabilization loop of angular motion are calculated by solving the minimax problem.

Index terms: satellite, angular stabilization, orbital correction, minimax optimization.

Операции коррекции орбиты спутников являются критически важными с точки зрения задач жизнеобеспечения. Для низкоорбитальных аппаратов (с высотой орбиты 200...250 км), чтобы держать под контролем параметры орбиты, такие операции длительностью в несколько минут необходимо проводить практически на каждом витке. Частота этих операций зависит от состояния ионосферы Земли и площади сечения миделя спутника в направлении его полета. Однако, ввиду наличия возмущающих моментов, вызванных несовпадением точки приложения сил тяги маршевых двигателей и центра масс аппарата, могут возникать угловые отклонения системы координат, связанной со спутником (ССК) относительно орбитальной системы координат (ОСК), которые системе управления ориентацией необходимо удерживать в строго заданных пределах, чтобы импульс на коррекцию орбиты при включенной корректирующей двигательной установки выдавался в правильном направлении.

В работе рассматривается космический аппарат с активной электро-маховичной системой

ориентации [1], основным органом управления на этапе коррекции орбиты является двигатель-маховик (ДМ). В составе системы ориентации спутника имеется три ДМ, расположенных ортогонально друг другу вдоль осей ССК. Корректирующая двигательная установка (КДУ), с помощью которой осуществляется коррекция орбиты, состоит из четырех сонаправленных реактивных двигателей, точки расположения которых заранее известны относительно ССК. Положение центра масс спутника относительно точек расположения двигателей известно с заданной точностью. Полная замкнутая система уравнений углового движения спутника при работающей КДУ выписывается в форме уравнений Эйлера–Лагранжа с учетом действующих от КДУ возмущений и управляющих моментов ДМ, формируемых обратной связью по угловым и скоростным отклонениям ССК от ОСК. Кинематические соотношения выписываются в форме, использующей углы Эйлера–Крылова.

Возмущения, действующие на систему, подразделяются на три класса – постоянно действующие возмущения (неточность формирова-

ния вектора тяги каждого двигателя, изменяющаяся во времени), постоянные возмущения (заранее неизвестное точно положение центра масс спутника) и начальные возмущения (отклонения ССК от ОСК в начальный момент времени по углам и угловым скоростям). Управление характеризуется выбором коэффициентов обратной связи из заранее известного ограниченного конечномерного множества. Выписанная система дифференциальных уравнений линеаризуется в окрестности нулевого отклонения ССК от ОСК с учетом малости углов отклонения и угловых скоростей и предстает в виде

$$\dot{x}' = Ax + B k_u^T x + Cv,$$

где x – вектор состояния системы, включающий в себя девять компонент – углы Эйлера–Крылова, угловые скорости и кинетический момент системы ДМ; A, B, C – постоянные матрицы; k_u^T – вектор, содержащий шесть коэффициентов обратной связи управления; v – совокупный вектор возмущений.

В работе производится расчет оптимальных значений коэффициентов обратной связи k_u , взятых из ограниченного замкнутого множества K_u размерности 6, путем решения минимаксной задачи, в которой минимизация происходит по k_u путем конечномерного перебора по множеству K_u , а максимизация – путем решения задачи Булгакова на бесконечномерном множестве возмущений. Также производится расчет предельно допустимой длительности коррекции орбиты, при которой параметры углового движения спутника гарантированно не выйдут за допустимые пределы при выбранных оптимальных коэффициентах k_u .

Библиографический список

1. Васильев В. Н. Системы ориентации космических аппаратов. М.: Изд-во ВНИИЭМ, 2009. 309 с.

References

1. Vasiliev V. N. Spacecraft attitude control systems. M.: VNIEM, 2009. 309 с.

УДК 629.7.054.07

Н. С. Самарцев, Е. Д. Колотилов, Б. В. Кошелев
(ПАО «Московский институт электромеханики и автоматики», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия, e-mail: samartsevnikita@gmail.com)

ЗАДАЧИ САМОЛЕТОВОЖДЕНИЯ, РЕШАЕМЫЕ ПОСРЕДСТВОМ ЦИФРОВОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Аннотация. Рассмотрено использование цифровой линии передачи данных «земля – борт – земля» в качестве дополнительного информационного канала в составе пилотажно-навигационного комплекса воздушного судна. Информация, передаваемая по линии передачи данных, может быть использована для обеспечения автоматизации выполнения различных операций на всех этапах выполнения полета, что повышает точность и надежность самолетовождения, а следовательно, и безопасность полета.

Ключевые слова: цифровая линия передачи данных, вычислительная система самолетовождения, пилотажно-навигационный комплекс, самолетовождение.

N. S. Samartsev, E. D. Kolotilov, B. V. Koshelev
(JSC «Moscow Institute Electromechanics and Automatics»,
Moscow Aviation Institute (State University of Aerospace Technologies), Moscow, Russia)

FLIGHT AND NAVIGATION TASKS SOLVED BY DIGITAL DATA LINK

Abstract. The paper deals with the use of the datalink «ground-board-ground» as an additional data interchange channel for the Flight Management System of an aircraft. Such datalink provides automation of various operations at all stages of the flight, which increases the accuracy and reliability of aircraft navigation, and therefore flight safety.

Index terms: datalink, flight management system, integrated flight and navigation system, air navigation.

В соответствии с концепцией CNS/ATM одним из современных направлений совершенствования комплекса бортового оборудования (КБО) воздушных судов (ВС) является автоматизация процесса обмена информацией между воздушными судами и центрами обслуживания воздушного движения (ОВД). Для ее реализации программное обеспечение вычислителя КБО должно обладать расширенными функциональными возможностями в части использования цифровых линий передачи данных (ЛПД) «земля – борт – земля» на всех этапах выполнения плана полета.

В работе [1] рассмотрены вопросы создания алгоритма обмена данными по цифровой линии передачи данных (ЛПД) «земля – борт – земля» и представлен имитатор данных блока управления радиосвязью (БУР), разработанный для отладки разработанного алгоритма на примере передачи полетного плана. Помимо этой задачи, существует целый ряд по обмену или передачи информации по ЛПД, которые требуется решить на разных этапах полета, такие как:

- передача данных о летно-технических характеристиках ВС в процессе предполетной подготовки;
- передача сообщений о метеообстановке и метеопрогнозе в процессе полета и возможном изменении плана полета;
- реализация функции наблюдения (передача автоматических сообщений о месте ВС в заранее запрограммированных точках маршрута, либо по запросу служб ОВД);
- обновление аэронавигационной информации (как правило, оперативного характера, типа NOTAM) в вычислительной системе самолетовождения (ВСС) ВС.

Перечисленные задачи не исчерпывают все случаи возможного использования ЛПД на всех этапах полета. В каждом случае имеются свои особенности передаваемых данных и характера обмена информацией. Процесс обмена информацией осуществляется с помощью протоколов информационного взаимодействия, которые реализованы в рамках модели OSI. Модель OSI

предполагает реализацию обмена на четырех логических уровнях взаимодействия: физическом, канальном, сетевом и прикладном. В зависимости от решаемой задачи (состава передаваемых данных) на прикладном уровне описывается формат символьных сообщений, регламентированный Приложением 7 стандарта ARINC 702A-4. Процесс передачи сообщений на физическом, канальном, сетевом уровнях одинаковый для всех решаемых задач. Формат данных и логика передачи сообщений на канальном и сетевом уровнях регламентированы стандартом ARINC 619-3.

В настоящее время доработка алгоритма и программы-имитатора БУР на электронно-вычислительной машине (ЭВМ) практически завершена. В дальнейшем планируется использовать его в качестве технологического инструмента в составе стенда полунатурного моделирования для отработки функции обмена данными по ЛПД на бортовом оборудовании.

Использование на всех этапах полета (предполетная подготовка, взлет, полет по маршруту, заход на посадку, посадка, руление на полосе) цифровых ЛПД в обеспечении ВСС необходимой предполетной и полетной информацией повышает безопасность полетов и эффективность полетов.

Библиографический список

1. Самарцев Н. С., Колотилов Е. Д., Кошелев Б. В. Алгоритм обмена данными по цифровой линии передачи данных «земля – борт – земля» // Труды МАИ. 2017. № 93.
2. Arinc Characteristic 702A-4 Advanced Flight Management Computer System, Aeronautical Radio, Inc. 2551 Riva Road, Annapolis, Maryland, USA, 2014.

References

1. Samartsev N. S., Kolotilov E. D., Koshelev B. V. Algorithm obmena dannymi po cifrovoj linii peredachi dannyh «zemlya – bort – zemlya» // Trudy MAI. 2017. № 93.
2. Arinc Characteristic 702A-4 Advanced Flight Management Computer System, Aeronautical Radio, Inc. 2551 Riva Road, Annapolis, Maryland, USA, 2014.

ВЫБОР ТИПА СИСТЕМЫ РАСКЛАДКИ НЕСУЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Аннотация. Сформулированы требования, приведена структура и анализ возможных вариантов систем раскладки несущих аэродинамических поверхностей (крыльев, рулей) беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и даны рекомендации по их применению.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, несущие поверхности, система раскладки, структура и функционирование.

А. В. Guseynov
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

SELECTION OF THE TYPE OF THE SYSTEM OF THE LAYOUT OF THE BEARING SURFACES UNMANNED AERIAL VEHICLE

Abstract. Requirements are formulated, the structure and analysis of possible variants of the laying out of the carrier aerodynamic surfaces (wings, rudders) of unmanned aerial vehicles (UAV) are given and recommendations for their application are given.

Index terms: unmanned aerial vehicle, bearing surfaces, layout system, structure and functioning.

Системы раскладывания (СР) предназначены для автоматического перевода аэродинамических поверхностей из одного (сложенного, транспортировочного) положения в другое фиксированное состояние (разложенное, полетное) непосредственно в начальной стартовой фазе полета БЛА или в определенной точке траектории. Их наличие в составе БЛА обусловлено стремлением минимизации стартовых габаритов для удобства размещения транспортных контейнеров и отсеков вооружения носителей.

К основным проблемам разработки систем раскладывания можно отнести: формирование аэродинамических нагрузок при раскладывании (помогающей, препятствующей); размещение конструкции СР в ограниченном объеме; обеспечение потребной системы быстрого действия; прочностные проблемы; синхронизация при раскладывании нескольких несущих поверхностей; демпфирование при срабатывании; выбор источников рабочего тела; обеспечение герметичности узлов при работе и др.

Система раскладывания состоит из следующих взаимодействующих элементов: исполни-

тельно-преобразующего механизма; источников энергии; синхронизирующего и демпфирующего устройств; фиксирующего механизма.

Возможны различные варианты кинематических и конструктивно-компоновочных решений по СР и их элементам.

Наиболее рациональным и отработанным источником питания представляется пороховой газогенератор. Его применение обеспечивает по сравнению с баллонами сжатого воздуха: повышение давления на порядок и соответственно уменьшение диаметра цилиндра и поршня.

Синхронизирующее и демпфирующее устройства обеспечивают устойчивость БЛА при старте. Наиболее простым способом синхронизации является обеспечение времени раскладывания за минимальное время ($t < 0,2$ с).

Наиболее простым способом фиксации являются разрушающие (срезные или разрывные) элементы и механизмы силового расфиксирования.

Для выбора рационального варианта и СП из возможных по принятому критерию (например, минимальная масса при заданных ограничениях) необходимо разработать математиче-

ские динамические модели функционирования его элементов с учетом воздействия следующих факторов: воздушных и инерционных нагрузок, температур, климатического воздействия, вибрации. Для проверки и уточнения получен-

ных в результате математического моделирования параметров (время раскладки, изменения давления, усилия, угловые скорости, температуры и т.п.) необходимо провести стендовые испытания.

УДК 681.513.1

А. В. Жирнов, канд. техн. наук, инженер-программист,
С. Н. Тимаков, д-р техн. наук, ведущий науч. сотр.
(ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королева»,
Королев, Россия, e-mail: sergey.timakov@rsce.ru)

УПРАВЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИЕЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА СО СТРУКТУРНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТЬЮ

Аннотация. Разработан алгоритм управления ориентацией структурно-неустойчивого космического аппарата, позволяющий управлять модой его движения, соответствующей твердому телу, и демпфировать низкочастотные упругие колебания его конструкции с помощью одного и того же набора исполнительных органов.

Ключевые слова: управление ориентацией, активное демпфирование, адаптивный наблюдатель, структурно-неустойчивый, упругие колебания.

A. V. Zhirnov, S. N. Timakov
(S. P. Korolev Rocket and Space Public Corporation Energia, Korolev, Russia)

ATTITUDE CONTROL OF A SPACECRAFT WITH STRUCTURAL INSTABILITY

Abstract. An algorithm for attitude control of a structurally unstable spacecraft has been developed. The algorithm makes it possible to control a solid body mode of spacecraft's angular motion and to damp the low-frequency elastic vibrations of its structure with the same set of actuators.

Index terms: attitude control, active damping, adaptive observer, structural instability, elastic oscillations.

В работе рассматривается динамика управляемого углового движения структурно-неустойчивого космического аппарата (КА) [1] с низкочастотными упругими колебаниями конструкции. В процессе управления ориентацией таких аппаратов работа исполнительных органов системы управления может возбуждать упругие колебания конструкции, влияние которых существенно снижает качество управления. При этом требования к управляющему воздействию для стабилизации моды движения, соответствующей абсолютно твердому телу, и требования для стабилизации составляющей движения, вызванной влиянием упругих колебаний конструкции, являются противоречивыми. Так, при наличии

низких или сверхнизких частот собственных колебаний конструкции КА может сильно увеличиться время стабилизации. Также наличие существенных упругих колебаний вызывает ряд проблем при управлении ориентацией крупногабаритных космических конструкций и космических станций. Это ухудшает точность ориентации, а также может привести к превышению допустимых нагрузок на конструкцию. При управлении ориентацией нередко используются реактивные двигатели ориентации (ДО), которые рассматриваются в данной работе в качестве исполнительных органов. Поскольку такие двигатели работают в импульсном режиме, каждое их включение и выключение вызывает колебания

конструкции КА. В связи с этим был разработан алгоритм, совмещающий два релейных закона управления, один из которых – закон управления по твердому телу, а второй – релейный закон активного демпфирования упругих колебаний конструкции. Основной проблемой разработки данного алгоритма является необходимость управления ориентацией аппарата как по твердому телу, так и демпфирование колебаний с помощью одного и того же набора двигателей ориентации.

Алгоритм анализирует текущее состояние углового движения на фазовой плоскости. При попадании фазовой точки, описывающей движение объекта управления как твердого тела, внутрь зоны нечувствительности релейного алгоритма управления твердым телом осуществляется активное демпфирование колебательных мод движения объекта. Таким образом, происходит разделение во времени процессов управления угловым движением КА как абсолютно твердым телом и собственно активного демпфирования упругих колебаний конструкции КА. Для анализа текущего состояния углового движения в качестве исходной информации используются оценки угловой скорости абсолютно твердого тела и оценки упругих составляющих угловой скорости доминирующих тонов упругих колебаний конструкции в месте установки датчика угловой скорости. Оценки формируются на выходе адаптивного наблюдателя [2, 3], который представляет собой бортовую настраиваемую модель динамики объекта управления, включая модель динамики упругих колебаний конструкции, функционирующую в режиме реального времени.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-08-01379 и № 17-08-01635.

Библиографический список

1. Колесников К. С. Динамика ракет. М.: Машиностроение, 2003.
2. Zubov N. E., Mikrin E. A., Ryabchenko V. N., Timakov S. N. Использование адаптивного наблюдателя в контуре управления международной космической станции в качестве самонастраивающегося полосового фильтра // Изв. РАН. ТиСУ. 2012. № 4.
3. Zhirnov A. V., Timakov S. N. Алгоритм диагностики отказов двигателей ориентации МКС на основе самонастраивающейся бортовой модели динамики углового движения // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 2016. № 4(109). С. 98 – 114.

References

1. Kolesnikov K. S. Dinamika raket [Dynamics of rockets]. Moscow, Mashinostroyeniye, 2003.
2. Zubov N. E., Mikrin E. A., Ryabchenko V. N., Timakov S. N. The use of an adaptive bandpass filter as an observer in the control loop of the international space station // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2012. № 4.
3. Zhirnov A. V., Timakov S. N. Algorithm diagnostics of engine failures of the MKS on the basis of a self-adjusting onboard model of angular motion dynamics // Vestnik MGTU im. N. E. Bauman. Ser. «Priborostroyeniye». 2016. № 4(109). P. 98 – 114.

МЕТОДИКИ И ИЗМЕРИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ ЗАПРАВКЕ ТОПЛИВОМ ЛА

Аннотация. Рассмотрены вопросы измерения токов электризации при перекачке жидкостей по трубопроводу. Приведены методика определения полного заряда, создаваемого при прокачке. Разработан прибор, основанный на преобразователе ток-напряжение для определения малых токов.

Ключевые слова: электризация, МДП-транзисторы, перекачка жидкостей по трубопроводу.

N. S. Borzov

(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

TECHNIQUES AND MEASURING INSTRUMENTS OF ELECTRIZATION OF LIQUIDS WHEN FUELING THE AIRCRAFT

Abstract. The problems of measuring electrization currents are considered when pumping liquids through a pipeline. A technique for determining the total charge generated during pumping is given. A device based on a current-voltage converter for determining low currents has been developed.

Index terms: electrization, MIS-transistors, pumping liquids through the pipeline.

Электризация легковоспламеняющегося топлива может привести к электрическим разрядам от объемных зарядов в массе топлива, возгоранию резервуаров с топливом. В докладе предлагаются методики измерения полного заряда, позволяющие обеспечить наименьшую электризацию при проектировании трубопроводов, а также разработанные измерители для регистрации токов и зарядов, возникающих в жидкости при перекачке. Предложенные в работе методики позволяют создать исследовательские стенды для испытаний проектируемых трубопроводов. При испытании методик особое внимание уделяется измерению полного заряда, создаваемого трением различных тел между собой и с неоднородной жидкостью, так как измерительный электрод захватит лишь часть зарядов из проходящей жидкости. Поэтому при измерении нельзя обойтись одним измерителем тока электризации. Измерение полного заряда может быть обеспечено несколькими измерителями и измерителями токов с последовательным включением интеграторов. Основой для предлагаемого измерения тока служит преобразователь ток-напряжение на операционном усилителе. Исследовательский стенд должен определять полярность потока зарядов в

жидкости, поэтому, меняя потенциал измерительного электрода, можно исследовать величину положительных и отрицательных зарядов в разных слоях жидкости. Для измерения полного потока зарядов ток электризации измеряют в разных частях стенда. Для обеспечения измерения малых токов операционный усилитель преобразователь ток-напряжение должен строиться на МДП-транзисторах. Наиболее удобным для этих целей подходит схема, предложенная в работе [1], построенная на операционном усилителе 140УД13 с дополнительным включением другого усилителя для увеличения коэффициента усиления. Это обеспечивает падение напряжения на измерителе до десяти микровольт. Разработанный измеритель может быть включен в действующую систему регулирования скорости перекачки жидкости в целях ограничения скорости перекачки и обеспечения безопасности при заправке топлива.

Библиографический список

1. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. Электроника. М.: Высш. шк., 1991. 622 с.

References

1. Gusev V. G., Gusev Yu. M. Elektronika. M.: Vyssh. sh., 1991. 622 p.

Л. А. Колганов, Е. Л. Чехов, Д. А. Антонов, канд. техн. наук, доц., науч. рук.
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия, e-mail: Kolganov.L.A@yandex.ru)

АВТОМОБИЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ АЛГОРИТМОВ ОРИЕНТАЦИИ, НАВИГАЦИИ И КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Аннотация. Рассмотрены методика, аппаратное и программно-математическое обеспечение исследования свойств алгоритмов ориентации, навигации и комплексной обработки информации автономных необитаемых подводных аппаратов с использованием измерительного стенда для автотранспорта. Приведены результаты оценки исследования свойств алгоритмов.

Ключевые слова: эталонная система, методическая погрешность, автономный необитаемый подводный аппарат.

L. A. Kolganov, E. L. Chekhov, D. A. Antonov
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

STUDY OF ORIENTATION AND NAVIGATION ALGORITHMS PROPERTIES FOR AUTONOMOUS UNMANNED UNDERWATER VEHICLE

Abstract. The technique, hardware and software supply to scrutiny of properties of orientation, navigation and complex information processing algorithms of the AUUV using a measuring stand for vehicles are shown. The results of evaluation investigation properties of algorithms are presented.

Index terms: reference system, methodical error, autonomous unmanned underwater vehicle.

Создание роботизированных транспортных средств [1], в том числе автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА), является одним из приоритетных направлений развития техники. В задачи АНПА входит обслуживание подводных нефтегазопроводов и других инженерных систем. Для выполнения этих задач АНПА должны обеспечиваться параметрами ориентации и навигации высокого уровня точности. Уровень точности параметров определяется инструментальными и методическими компонентами ошибок. Нивелирование влияния инструментальных погрешностей достигается путем, например, калибровки. Другой проблемой при разработке алгоритмов АНПА является исследование свойств алгоритмов ориентации, навигации и комплексной обработки информации (КОИ). Эту проблему можно решить, например, оценив достижимую точность комплекса. Однако этот вариант требует значительных временных ресурсов, особенно в случае синтеза многоуровневых алгоритмов, построенных на основе КОИ. Другим решением является использование эталонных измерительных систем. Для этого не-

обходимо получить эталонные измерения на траекториях, приближенных к реальным. Выполнение этого условия возможно с использованием стенда эталонных измерений, установленного на автотранспорте. В рамках работы по разработке комплекса бортового оборудования (КБО) АНПА был создан такой стенд. В докладе представлен подход к использованию стенда для исследования свойств алгоритмов ориентации, навигации и КОИ АНПА. Приводятся обобщенная методика, структуры аппаратного и программно-алгоритмического обеспечения стенда, результаты применения предлагаемого подхода при исследовании свойств алгоритмов КБО АНПА.

Работа проводится при поддержке гранта РФФИ 16-08-01185 А.

Библиографический список

1. Веремеенко К. К., Антонов Д. А., Жарков М. В., Зимин Р. Ю. Экспериментальный автомобильный интегрированный навигационный модуль // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. Декабрь 2008. № 12. Р. 20 – 23. ISSN 0885-8985, DOI: 10.1109/MAES.2008.4694833.

References

1. Veremeenko K. K., Antonov D. A., Zharkov M. V., Zimin R. Yu. Experimental Automobile In-

tegrated Navigation Module // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine – December 2008. № 12. P. 20 – 23. ISSN0885-8985, DOI: 10.1109/MAES.2008.4694833.

А. Е. Лукашова, e-mail: anastasija-lukashova1995@mail.ru,
Д. А. Антонов, канд. техн. наук, доц., науч. рук.
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия)

АЛГОРИТМ КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО КАНАЛА ВОЗДУШНОГО СУДНА

Аннотация. Приведены обзор существующих методов контроля целостности навигационных параметров, обоснование состава и структуры комплекса. Предложен алгоритм комплексной обработки информации вертикального канала. Приведены результаты моделирования алгоритма контроля целостности параметров вертикального канала воздушного судна.

Ключевые слова: целостность, комплексная обработка информации, воздушное судно.

A. E. Lukashova, D. A. Antonov
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

AN APPROACH TO AIRCRAFT NAVIGATION INTEGRITY MONITORING

Abstract. Report presents an overview of existing methods for navigation parameters integrity monitoring. An algorithm for complex processing of vertical channel information is proposed. The simulation results of vertical channel parameters integrity monitoring are presented.

Index terms: integrity, integrated information processing, aircraft.

Среди множества задач, поставленных перед авиационной отраслью, актуальной является обеспечение безопасности полетов, которое связано с повышением надежности и целостности навигационных данных, в частности с параметрами вертикального канала. Одним из подходов к решению задачи является интеграция навигационных систем с использованием алгоритмов комплексной обработки информации (КОИ) [1]. В настоящее время существуют различные подходы к решению задач своевременного обнаружения сбоев в бортовой радионавигационной аппаратуре и исключения таких сбоев. Наиболее распространенными типами алгоритмов контроля целостности являются RAIM, FDE и AAIM [2].

В работе предлагается авторский подход к синтезу алгоритма контроля целостности типа AAIM высотно-скоростных параметров, полученных на основе комплексирования инерциальных, спутниковых и барометрических измерений. В качестве основы алгоритма контроля целостности предлагается использовать алго-

ритм КОИ на основе фильтра Калмана перестраиваемой структуры с использованием стохастического и волнового представления ошибок псевдодальностей глобальных спутниковых навигационных систем [3]. Такой вариант комплексирования позволяет обнаруживать и оценивать величину погрешностей псевдодальностей, как скачкообразных, так и медленно нарастающих, одновременно для нескольких навигационных космических аппаратов рабочего созвездия.

В докладе приводится описание алгоритма контроля целостности параметров. Подход к формированию порогов принятия решения, методика, программно-математическое обеспечение и анализ результатов имитационного моделирования подтверждают правильность принятых решений и возможность использования предлагаемого алгоритма для контроля целостности высотно-скоростных параметров воздушного судна.

Работа проводилась при поддержке гранта 8.2118.2017/4.6.

Библиографический список

1. Ривкин С. С., Ивановский Р. И., Костров А. В. Статистическая оптимизация навигационных систем. Л.: Судостроение, 1976.
2. Хван П. Ю., Браун Р. Г. RAIM-FDE revisited: новый прорыв в работе с NIOAIM // Navigation. 2006. V. 53, № 1. P. 41 – 52.
3. Антонов Д. А., Веремеенко К. К., Жарков М. В., Кузнецов И. М. Алгоритмическая поддержка беспорядочной навигации транспортного средства // Известия Тульского государственного университета. Сер. Технические науки. Тула, 2016. Вып. 10.

References

1. Rivkin S. S., Ivanovsky R. I., Kostrov A. V. Statistical optimization of navigation systems. L.: Shipbuilding, 1976.
2. Hwan P. Y., Brown R. G. RAIM-FDE revisited: a new breakthrough in availability performance with NIOAIM // Navigation. 2006. V. 53, № 1. P. 41 – 52.
3. Antonov D. A., Veremeenko K. K., Zharkov M. V., Kuznetsov I. M. Algorithmic support for disturbance-free navigation of a vehicle // Izvestiya of the Tula State University. Technical science. Tula, 2016. Is. 10.

М. С. Рябинкин, О. И. Калинина, Д. А. Антонов, канд. техн. наук, доц., науч. рук.
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия, e-mail: max230658@gmail.com)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ИНТЕГРИРОВАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ АЛГОРИТМОВ ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Аннотация. Приведены методика и программно-математическое обеспечение исследования свойств численных методов интегрирования (ЧМИ). Даны результаты исследования влияния ЧМИ на точность решения задачи ориентации и навигации для необитаемых подводных аппаратов (НПА), полученные с применением стенда для испытания навигационного оборудования на базе автомобиля.

Ключевые слова: метод интегрирования, подводный аппарат, исследование.

М. S. Ryabinkin, O. I. Kalinina, D. A. Antonov
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

STUDY OF ERRORS INDUCED BY NUMERICAL INTEGRATION METHODS USED IN UNDERWATER VEHICLE NAVIGATIONAL ALGORITHMS

Abstract. The paper presents software and hardware solutions used to study errors induced by numerical integration methods used in underwater vehicle navigation algorithms.

Index terms: integration method, underwater vehicle, research.

При решении задач мониторинга морских акваторий активно применяются необитаемые подводные аппараты. Перечень задач, решаемых подводными аппаратами, включает в себя обеспечение безопасности судоходства, предупреждение стихийных бедствий, а также исследование месторождений полезных ископаемых. Для решения этих задач необходимо обеспечивать подводные аппараты параметрами ориентации и навигации требуемого уровня точности. Одной из проблем при этом является выбор ЧМИ-измерений исходя из требований к точности определения параметров, частоты решения

задач и непосредственно к точности самих измерений.

При разработке кафедрой 305 «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации» МАИ комплекса бортового оборудования (КБО) для НПА встала задача создания библиотеки ЧМИ и исследование свойств методов в зависимости от точности систем, частоты решения для КБО НПА. Библиотека включает в себя: метод Эйлера, Рунге–Кутты второго и четвертого порядков, Рунге–Кутты–Мерсона, Адамса и Гира.

При этом необходимо провести исследование ЧМИ, что возможно аналитически, с приме-

нением имитационного моделирования или с использованием эталонных измерений. Первые два варианта, в случае КБО НПА, трудоемки из-за сложности самих алгоритмов ориентации, навигации и комплексирования. Поэтому необходимо исследование свойств ЧМИ с использованием стенда для испытания навигационного оборудования на базе автомобиля.

В докладе приводится анализ результатов использования различных ЧМИ для решения задачи ориентации и навигации в КБО НПА, полученных с использованием автомобильного стенда.

Работа проводится при поддержке гранта РФФИ 16-08-01185 А.

Библиографический список

1. **Отказоустойчивый** навигационный комплекс автоматического необитаемого подводного аппарата / А. С. Амирагов, Д. А. Антонов, К. К. Веремеенко, М. В. Жарков, А. Н. Пронькин, Е. Л. Чехов. М., 2017.
2. **Мудров А. Е.** Численные методы для ПЭВМ на языках бейсик, фортран, паскаль. Томск, 1991.

References

1. **Fault-tolerant** navigation complex for an Automatic Unmanned Underwater Vehicle / A. S. Amiragov, D. A. Antonov, K. K. Veremeenko, M. V. Zharkov, A. N. Pronkin, E. L. Chehov. M., 2017.
2. **Mudrov A. E.** Numerical methods for PC in basic, Fortran and Pascal. Tomsk, 1991.

М. Д. Тумаев, Л. А. Колганов, Д. А. Антонов, канд. техн. наук, доц., науч. рук.
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»
Москва, Россия, e-mail: 1998mihka@mail.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МАЛОГАБАРИТНОЙ КОМПЛЕКСНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АВТОНОМНЫХ И ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Аннотация. Рассмотрена структура аппаратного и математического обеспечения для проведения испытаний и калибровки. Описана методика проведения испытаний. Приведен анализ результатов.

Ключевые слова: подводный аппарат, навигационная система, испытания.

M. D. Tumaev, L. A. Kolganov, D. A. Antonov
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

PROPERTY ANALYSIS OF SMALL-SIZED INTEGRATED NAVIGATION SYSTEM FOR AUTONOMOUS AND REMOTE-CONTROLLED UNMANNED UNDERWATER VEHICLES

Abstract. Report presents the structure of hardware and mathematical support for testing and calibration. The method of testing is described. The analysis of results is given.

Index terms: underwater vehicle, navigation system, testing.

Автономные и телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (АНПА и ТНПА) на сегодняшний день являются растущим сегментом рынка. Современные подводные аппараты способны выполнять широкий круг задач, в который входят экологический мониторинг, океанологические исследования, обслуживание глубоководных систем и объектов, поиск подводных месторождений, охрана акваторий и др.

На кафедре 305 «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации» МАИ разработана малогабаритная комплексная навигационная система (МКНС), которая предназначена для использования в качестве основного источника информации о параметрах ориентации и навигации АНПА и ТНПА малого класса или в качестве резервной навигационной системы АНПА и ТНПА среднего класса [1].

Для проверки соответствия характеристик МКНС требованиям технического задания разработан аппаратно-алгоритмический комплекс, включающий квадрант оптический КО-60, буссоль БГ-1, а также геодезический штатив с горизонтируемой платформой. По результатам полунатурных испытаний выявлены и устранены недостатки программно-алгоритмического обеспечения системы.

В докладе приводится обобщенная методика, структура аппаратного и математического обеспечения для проведения испытаний МКНС, представлен анализ результатов.

Библиографический список

1. Веремеенко К. К., Антонов Д. А., Жарков М. В., Зимин Р. Ю. Малогабаритные комплексные навигационные системы // XVII Санкт-Петербургская Междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. СПб.: SSCRFCSRI «Электроприбор», 2010. С. 188 – 190.

References

1. Veremeenko K. K., D. A. Antonov, M. V. Zharkov, R. Yu Zimin. Small-size integrated Navigation System // XVII St. Petersburg International. Conf. On integrated navigation systems. SPb.: SSC RF CSRI «Elektro-pribor», 2010. P. 188 – 190.

Е. Л. Чехов, М. Д. Тумаев, Д. А. Антонов, канд. техн. наук, доц., науч. рук.
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт национальный исследовательский университет»),
Москва, Россия, e-mail: egorchekhovoleo@icloud.com)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ КОМПЛЕКСНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОТРАНСПОРТА

Аннотация. Рассмотрена обобщенная методика, структура аппаратного и программно-алгоритмического обеспечения для проведения полунатурных испытаний высокоточных комплексных навигационных систем для автономных и телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов с применением стенда на базе автомобильного транспорта. Проведен анализ результатов испытаний.

Ключевые слова: навигационная система, подводный аппарат, испытания.

Е. Л. Chekhov, M. D. Tumaev, D. A. Antonov
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

TESTING RESULTS ANALYSIS OF INTEGRATED NAVIGATION SYSTEM FOR UNMANNED UNDERWATER VEHICLES

Abstract. Report presents a generalized methodology, hardware and software solutions for performing testing of high-precision integrated navigation systems for autonomous and remote-controlled unmanned underwater vehicles. The analysis of test results is carried out.

Index terms: navigation system, underwater vehicle, testing.

На сегодняшний день для исследования морских акваторий в гражданских и военных целях широко применяются автономные и телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (АНПА и ТНПА). При создании таких аппаратов возникают задачи разработки [1], изготовления и испытания высокоточных комплексных навигационных систем (КНС) для обеспечения автономной навигации и траекторного управления АНПА и ТНПА в подводном и надводном режимах.

В рамках работ по созданию комплекса бортового оборудования (КБО) АНПА на кафедре 305

МАИ «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации» решена задача разработки и испытания высокоточной КНС для использования в качестве основного источника информации о параметрах ориентации и навигации АНПА.

Программно-алгоритмическое обеспечение контроллера КНС осуществляет сбор и первичную обработку измерений трех акселерометров АК-15 и трех оптоволоконных датчиков угловой скорости ОИУС1000 компании «Оптолинк». В надводном режиме осуществляется коррекция показаний инерциального блока от спутникового приемника,

также предусмотрена коррекция от других датчиков и систем КБО АНПА в подводном режиме.

Для исследования погрешностей КНС проведены полунатурные испытания с применением стенда на базе автомобильного транспорта. В качестве эталонного источника измерений использовали инерциально-спутниковую навигационную систему NovAtelSPANUIMU-LCI. В ходе испытаний осуществлен проезд по заданной траектории. Была проведена запись показаний датчиков, их температур, а также комплексного решения, что позволило исследовать методические и инструментальные погрешности КНС.

В докладе приведены обобщенная методика, структура аппаратного и программно-алгоритмического обеспечения для проведения полуна-

турных испытаний КНС, представлен анализ результатов.

Работа проводится при поддержке гранта РФФИ 16-08-01185 А.

Библиографический список

1. Веремеенко К. К., Антонов Д. А., Жарков М. В., Амирагов А. С. О концепции создания навигационного комплекса для автоматического нежилых подводного транспортного средства // Новосты навигации. 2014. № 1. С. 28 – 33.

References

1. Veremeenko K. K., Antonov D. A., Zharikov M. V., Amiragov A. S. On a creation concept of a navigation complex for an automatic uninhabited underwater vehicle // Navigation news. 2014. № 1. P. 28 – 33.

УДК 67.05

О. И. Калинина, М. С. Рябинкин, А. Н. Пронькин, ст. преп., науч. рук.
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия, e-mail: olya_2255@mail.ru)

КОМПЛЕКС ИМИТАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ СТЮАРТА

Аннотация. Рассмотрен обучающий комплекс имитации динамических возмущений на основе платформы Стюарта для изучения свойств навигационных алгоритмов, использующих информацию от микромеханических чувствительных элементов. Представлена структура комплекса, алгоритмы работы. Приведены результаты работы.

Ключевые слова: платформа Стюарта, обучающий комплекс, навигационные алгоритмы, микромеханические датчики.

О. I. Kalinina, M. S. Ryabinkin, A. N. Pronkin
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

THE COMPLEX SIMULATION OF DYNAMIC DISTURBANCE BASED ON THE STEWART PLATFORM

Abstract. A training complex for dynamic perturbation simulation based on the Stewart platform for studying the properties of navigation algorithms using information from micromechanical sensing elements is considered. The structure of the complex, algorithms, analysis of the results of the work is presented.

Index terms: Stewart platform, training complex, navigation algorithms, MEMS sensors.

Развитие науки и техники является непрерывным процессом, результатом которого является создание новых приборов и устройств. В частности, в последнее время наблюдается резкий рост производства и внедрения инерциальных датчиков на базе технологии микроэлектронных механических систем (МЭМС), что в свою очередь

ставит перед профильными образовательными учреждениями задачу разработки новой методики обучения и внедрения специальных обучающих комплексов, которые позволят студентам изучить принципы работы таких датчиков, а также исследовать и проанализировать свойства навигационных алгоритмов, использующих измерения от

МЭМС-датчиков. В частности, такими алгоритмами могут быть алгоритмы гироскопов (ГВ), инерциальной курсовертикали (ИКВ), а также различные алгоритмы с использованием комплексной обработки информации (КОИ) [1].

Для решения поставленной задачи в работе было предложено создать обучающий комплекс исследования свойств навигационных алгоритмов на базе платформы Стюарта [2]. Малые массогабаритные характеристики исследуемого блока чувствительных элементов позволяют создать комплекс имитации возмущений сравнительно небольшого размера, у которого в качестве управляющих двигателей могут быть использованы сервоприводы.

В докладе приводится концепция обучающего комплекса, методика изучения свойств навигационных алгоритмов на базе МЭМС-датчиков с использованием комплекса имитации возмущений, структура и технические характеристики, а также результаты работы созданного комплекса имитации возмущений.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ 16-08-01185.

Библиографический список

1. **Веремеенко К. К., Козорез Д. А., Душ К. И.** Моделирование процессов эксплуатации интегрированных воздушных систем на основе методологии объектно-ориентированного анализа и проектирования. М.: МАИ – PRINT, 2010. 96 с.
2. **Стюарт Д.** Платформа с шестью степенями свободы // Труды института инженеров-механиков. Лондон, 1965. Т. 180. № 15. С. 371 – 385.

References

1. **Veremeenko K. K., Kozorez D. A., Showered K. I.** Modeling of the processes of operation of integrated aircraft systems based on the methodology of object-oriented analysis and design. M.: MAI – PRINT, 2010. 96 p.
2. **Stewart D.** A platform with six degrees of freedom // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. London, 1965. V. 180. № 15. P. 371 – 385.

УДК 62-529

Т. А. Силаева, канд. техн. наук, доц., e-mail: ta.silaeva@mail.ru,
А. В. Силаев, канд. техн. наук, доц., e-mail: av.silaev@mail.ru

(Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ БОРТОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДЕФОРМИРУЕМЫМ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ

Аннотация. Предложен алгоритм обнаружения и демпфирования неустойчивой моды упругих колебаний деформируемого космического аппарата (ДКА), основанный на оценке координат состояния упругих мод с помощью наблюдателя и коррекции параметров закона управления. Алгоритм реализуется в бортовой вычислительной системе.

Ключевые слова: упругие колебания, наблюдатель, вычислительная система.

T. A. Silaeva, A. V. Silaev

(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

DEVELOPMENT OF ONBOARD COMPUTING SYSTEM OPERATION ALGORITHMS FOR CONTROL OF A FLEXIBLE SPACECRAFT

Abstract. The algorithm of recognizing and damping an unstable mode of flexible spacecraft (FS) oscillations is proposed on the base of estimating flexible modes state coordinates by means of an observer and correcting parameters of a control law. The algorithm is implemented in an onboard computing system.

Index terms: flexible oscillations, observer, computing system.

Рассматривается модель углового движения ДКА в модально-физической форме, в которой движение объекта представляется сум-

мой движения его как жесткого тела и ограниченного числа мод упругих колебаний. Управляющее воздействие предполагается релейным,

что обусловлено более широким распространением релейных исполнительных органов управления ДКА и большей опасностью в смысле его влияния на амплитуды мод. Измеряемыми являются координаты общего движения ДКА и скорости их изменения.

При совпадении частоты спектральной составляющей управления с частотой моды будет иметь место резонанс данной моды, что приведет к неустойчивости движения ДКА. Поэтому необходимо своевременно обнаружить неустойчивую моду и демпфировать ее. В работе [1] предложен способ обнаружения неустойчивой моды путем оценки средней скорости изменения огибающей каждой моды. Однако методы получения огибающих мод требуют знания начальных значений координат состояния мод. В связи с этим в данной работе предлагается оценка этих значений с помощью наблюдателя состояния, используемого на коротком отрезке времени для оценки требуемых начальных значений координат состояния мод.

После обнаружения неустойчивой моды осуществляется ее демпфирование с помощью предложенного в работе [1] алгоритма.

Рассматриваемые алгоритмы реализуются в бортовой вычислительной системе, которая может быть спроектирована на базе программируемых логических интегральных схем [2].

Библиографический список

1. **Силаев А. В.** Синтез корректирующего закона управления деформируемым космическим аппаратом на основе оценки огибающих упругих мод // *Авиакосмическое приборостроение*. 2006. № 2. С. 57 – 63.
2. **Силаева Т. А.** Проектирование цифровых устройств на основе программируемых логических интегральных схем фирмы Altera: учеб. пособие к лабораторным работам. М.: Изд-во МАИ, 2016. 96 с.

References

1. **Silaev A.V.** Design of a flexible spacecraft control law on the base of estimating flexible mode envelope // *Aviakosmicheskoe priborostroenie*. 2006. № 2. P. 57 – 63.
2. **Silaeva T. A.** Design of digital devices on the base of programmable logic integrated circuits of Altera firm: tutorial to laboratory classes. M.: MAI Publ., 2016. 96 p.

УДК 621.81

Н. А. Левкина, e-mail: levkina@mpsystems.su
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия)

КРИТЕРИИ ВЫБОРА ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

Аннотация. Рассмотрены критерии выбора, а также произведен сравнительный анализ отечественных и иностранных влагозащитных покрытий. Обоснована важная роль уменьшения влияния внешних воздействующих факторов на деградационные процессы в радиоэлектронной аппаратуре.

Ключевые слова: влагозащитные покрытия, внешние воздействующие факторы, агрессивные среды, деградационные процессы, смачиваемость, адгезия.

N. A. Levkina
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

SELECTION CRITERIA FOR MOISTURE-PROOF COATING

Abstract. This thesis considers the selection criteria, as well as a comparative analysis of domestic and foreign moisture protection coatings. The important role of reducing the influence of external factors on the degradation processes in electronic equipment is substantiated.

Index terms: waterproof coatings, external factors, aggressive media, degradation processes, wettability, adhesion.

Многие современные изделия электроники в настоящее время используются в условиях повышенной влажности, перепада температур, ту-

мана, вибрации и пр. Именно поэтому одной из основных задач для производителей электронных устройств является обеспечение длительной

и бесперебойной работы изделий в жестких условиях и агрессивных средах.

Влагозащитные покрытия призваны уменьшить влияние внешних воздействующих факторов (ВВФ) на деградационные процессы в радиоэлектронной аппаратуре.

Как правило, для защиты таких изделий используются влагозащитные покрытия УР-231, эпоксидные смолы Э-30, ЭД-20, ЭП-9114 и др. Проанализированы недостатки различных вариантов влагозащитных покрытий.

Показано, что одним из них является плохая адгезия влагозащитных покрытий, связанная с недостаточной смачиваемостью печатного узла. Это приводит к плохой адгезии отечественных влагозащитных покрытий, которая не связана с качеством отмывки печатных узлов.

Вместе с тем показано, что немаловажным недостатком является неремонтопригодность печатных узлов после нанесения влагозащитного покрытия.

Для исправления возможных возникающих дефектов используются механическое или химическое удаление влагозащитного покрытия, которые несут риски повреждения поверхности

печатной платы и компонентов, затрудняют локальный ремонт, занимают много времени, не дают стабильный результат и не всегда удовлетворяют условиям охраны труда на рабочем месте.

Зарубежные покрытия, которые хотя и имеют несколько лучшие характеристики и позволяют избежать показанных затруднений, проигрывают отечественным в стоимостном выражении, что в конечном результате оказывает положительное влияние на стоимость изготавливаемой продукции.

Библиографический список

1. **Потелуев Д.** Скованные одной цепью: проблемы адгезии отечественных влагозащитных покрытий // Вектор высоких технологий. 2018. № 2(37) С. 64.
2. **Уразаев В.** Влагозащитные полимерные покрытия: функции // Технологии в электронной промышленности. 2005. № 4.

References

1. **Potseluev D.** Bounded by one chain: the problems of adhesion of domestic waterproof coatings / High-Tech Vector. 2018. № 2(37). P. 64.
2. **Urazaev V.** Waterproof polymer coatings: functions // Technologies in the electronics industry. 2005. № 4.

УДК 532.59:539.3

И. К. Туркин, e-mail: kafedra_602@mail.ru
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия)

АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ ТОНКОСТЕННОЙ ОБОЛОЧКИ ВРАЩЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В ЖИДКОСТИ

Аннотация. Проведено исследование поведения тонкостенной оболочки вращения под действием ударной волны в жидкости. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании аппаратов, функционирующих в жидкости.

Ключевые слова: оболочка вращения, ударная волна, жидкость.

I. K. Turkin
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

THE ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF THE THIN-WALLED SHELL OF ROTATION UNDER THE IMPACT OF A SHOCK WAVE IN A LIQUID

Abstract. The investigation the behavior of a thin-walled shell of rotation under the impact of a shock wave in a liquid. The obtained results can be used in designing devices operating in a liquid.

Index terms: shell of rotation, shock wave, liquid.

Работа посвящена решению задачи гидроупругого взаимодействия слабой ударной волны с упругой параболической оболочкой в свя-

занный постановке. Оболочка находится в идеальной сжимаемой жидкости и заключена в параболический экран. Движение жидкости

описывается линейными волновыми уравнениями.

Полное гидродинамическое давление, действующее на оболочку, согласно принципу суперпозиции, представляется в виде суммы давлений в падающей, отраженной и излученной волнах. Далее решается совместно основное волновое уравнение и уравнение движения оболочки при начальных условиях для потенциалов скоростей и начальных условиях, соответствующих неподвижной оболочке и ее ненапряженному состоянию. Граничные условия на торце оболочки отвечают жесткой заделке, а граничные условия в вершине параболоида определяются из условия симметрии. Давление в отраженной волне определяется приближенно в виде полусуммы экспоненциальных функций, а давление излучения – на основе теории тонкого слоя.

Напряженно-деформированное состояние рассматриваемой оболочки, погруженной в воду, определено численным интегрированием урав-

нений движения с применением метода прямых по угловой координате и метода Рунге–Кутты–Мерсона по времени. На оболочку из алюминия падает плоская ударная волна экспоненциального профиля.

Результаты расчетов показывают, что прогибы, определенные без учета давления излучения, имеют характер колебаний с нарастающей амплитудой и убывающей частотой. Продольные усилия и изгибающие моменты, найденные с учетом давления излучения, меньше соответствующих значений силовых факторов, рассчитанных без учета давления излучения.

В итоге этим давлением можно пренебрегать лишь когда отношение $\rho_0 f / \rho h$ много меньше единицы, где ρ_0 , ρ – плотность материала оболочки и окружающей среды; f – фокусное расстояние параболы; h – толщина оболочки. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании аппаратов, функционирующих в жидкой среде.

УДК 533.6.013.42:629.762.5

А. Ю. Нагорнов, e-mail: andrey-nagornov@mail.ru, **С. Г. Парафес**, e-mail: s.parafes@mail.ru
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия)

К ВЫБОРУ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОУПРУГОЙ УСТОЙЧИВОСТИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Аннотация. Проведен анализ методов исследования аэроупругой устойчивости беспилотного летательного аппарата (БЛА) с системой автоматического управления (САУ). Даны рекомендации по использованию методов в процессе разработки БЛА.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, система автоматического управления, аэроупругая устойчивость, методы исследования.

A. Yu. Nagornov, S. G. Parafes
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

TO CHOICE OF METHODS FOR STUDY OF UNMANNED AERIAL VEHICLE AEROELASTIC STABILITY

Abstract. The analysis of methods of investigation of aeroelastic stability of unmanned aerial vehicle (UAV) with automatic control system (ACS) is carried out. Recommendations on the use of methods in the process of UAV development are given.

Index terms: unmanned aerial vehicle, automatic control system, aeroelastic stability, methods of investigation.

Для исследования аэроупругой устойчивости БЛА с САУ применяются теоретические и экспериментальные методы. Теоретические ме-

тоды основаны на определенной схематизации аэроупругого взаимодействия БЛА с САУ и применении некоторых допущений. Точность

определения границ аэроупругой устойчивости БЛА с САУ зависит от достоверности упруго-массовой модели БЛА, качества аэродинамической теории, описывающей нестационарные нагрузки, и достоверности математического описания САУ. Первая группа теоретических методов основана на использовании при упруго-массовой схематизации метода заданных форм, в качестве которых рассматриваются формы собственных колебаний БЛА вне потока. При этом упругий БЛА схематизируется системой балок и/или отсеков (пластин). Для определения аэродинамических нагрузок используется, как правило, гипотеза квазистационарности. Вторая группа предполагает применение метода конечных элементов для формирования упруго-массовой модели БЛА, а его аналогов – методов дискретных вихрей и возмущенных давлений для определения аэродинамических сил при до- и сверхзвуковом обтекании.

В работе предлагается использовать к исследованию аэроупругой устойчивости БЛА с САУ подход, который заключается в применении модели движения упругого БЛА, представленной системой линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами,

записанной в обобщенных координатах (соответствующим формам собственных колебаний вне потока). Вектор обобщенных координат включает координаты, описывающие движение БЛА как твердого тела, его упругие деформации и отклонения органов управления. Вектор внешних воздействий содержит отклонения штоков рулевых приводов, сосредоточенные силы, интенсивность воздушного порыва. Обобщенные координаты, их скорости и ускорения связываются с физическими координатами (такими как смещения, углы поворота, ускорения и угловые скорости в местах установки датчиков САУ, а также силовые факторы в выбранных точках конструкции). При исследовании аэроупругого взаимодействия БЛА с САУ последняя обычно представляется в виде блок-схемы, состоящей из определенного набора элементов (звеньев), соединенных связями. Эти звенья соответствуют физическим элементам САУ (датчики, усилители, электрические фильтры, элементы рулевых приводов).

Для уточнения границ аэроупругой устойчивости БЛА с САУ предлагается применять экспериментальные методы, в первую очередь метод электромеханического моделирования упругих колебаний БЛА «в полете».

УДК 629.78

В. М. Кульков, Ю. Г. Егоров (Научно-исследовательский институт прикладной механики и электродинамики Московского авиационного института, Москва, Россия);
С. О. Фирсюк (ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Москва, Россия), e-mail: vmk_1@mail.ru

АНАЛИЗ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ЭЛЕКТРОРАКЕТНЫМИ ДВИГАТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Аннотация. Рассмотрены вопросы проектирования малых космических аппаратов (МКА) с применением электроракетных двигателей (ЭРД) малой мощности. Представлен сравнительный анализ эффективности применения малых космических аппаратов с электроракетными двигательными установками (ЭРДУ) разных типов. Исследование возможностей применения ЭРД малой мощности для перспективных МКА позволяет получить рекомендации для выбора схемных решений и характеристик ЭРДУ.

Ключевые слова: малый космический аппарат, электроракетный двигатель, схемные решения, эффективность.

V. M. Kulkov, Yu. G. Egorov (Research Institute of Applied Mechanics and Electrodynamics of Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia);
S. O. Firsyuk (Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia)

CONCEPT DESIGN ANALYSIS AND EFFICIENCY OF APPLICATION ESTIMATION OF SMALL SPACECRAFT WITH ELECTRIC PROPULSION UNITS

Abstract. The problems of the design of small spacecraft (SS) with the use of low-power electric propulsion thrusters (EPT) are considered. A comparative analysis of the efficiency of the use of small spacecraft with electric propulsion units (EPU) of different types is presented. The study of the possibilities of using low-power EPT for promising SS makes it possible to obtain recommendations for the choice of concept design and characteristics of EPU.

Index terms: small spacecraft, electric propulsion thruster, concept design, efficiency.

В связи с развитием перспективного направления космической техники – малых космических аппаратов (МКА), актуальной является задача применения электроракетной двигательной установки (ЭРДУ) в составе МКА. Электроракетные двигатели (ЭРД) могут быть использованы в качестве маршевых двигателей при полетах в околоземном космосе, переводе МКА с промежуточной орбиты на рабочую орбиту («довыведение» МКА), для поддержания орбиты отдельного спутника или орбитальной структуры спутников в системах глобальной связи и наблюдения, а также в системе ориентации МКА.

Одной из особенностей ЭРДУ является возможность малой величины единичного импульса тяги, высокая точность дозирования импульсов, практическое отсутствие импульса последствия, что обеспечивает точность поддержания орбиты и выполнение особо точной ориентации. Кроме того, высокий уровень удельного импуль-

са тяги приносит выигрыш по массе МКА при длительном времени функционирования (свыше 5 лет). При использовании энергосистемы целевого модуля для энергопитания ЭРДУ преимущество ЭРД перед газореактивными системами и двигательными установками на основе ЖРД становится особенно ощутимым.

Высокий удельный импульс, возможность регулирования в широких пределах выходных характеристик, приемлемые значения массы и габаритов ЭРДУ на базе ионных двигателей (ИД), стационарных плазменных двигателей (СПД) и импульсных плазменных двигателей (ИПД) определяют эффективность их применения в составе МКА. Для сравнительной оценки эффективности применения таких типов ЭРДУ определяются возможные варианты использования МКА с ЭРД различных типов в составе космических систем, функционирующих в околоземном космическом пространстве.

Проведение исследований по двигательной установке на базе ЭРД ставит целью выявление оптимальных схем ЭРДУ МКА и формирование рекомендаций для выбора рационального варианта ЭРДУ. На основании такого анализа может быть сделан обоснованный вывод о рациональном выборе варианта двигательной установки МКА. Анализ технических решений позволяет выработать рекомендации по оптимальным типам двигательных установок с учетом технических требований к ЭРДУ МКА.

Библиографический список

1. **Сравнительная** оценка эффективности применения перспективных типов электроракетных двигателей в составе малых космических аппаратов / В. М. Кульков, В. А. Обухов, Ю. Г. Егоров, А. А. Белик, А. М. Крайнов // Вестник СГАУ имени академика С. П. Королева «Авиационная и ракетно-космическая техника». Самара, 2012. № 4(34). Ч. 1. С. 187 – 195.
2. **К вопросу** проектирования малых космических аппаратов с маршевой электроракетной двигательной установкой для исследования окололунного пространства / В. М. Кульков, Ю. Г. Егоров, А. М. Крайнов, А. Е. Шаханов, Р. В. Ельников // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина. 2013. № 4(20). С. 68 – 74.
3. **К вопросу** проектирования малых космических аппаратов с маршевой электроракетной двигательной установкой для исследования малых тел Солнечной системы / В. М. Кульков, Ю. Г. Егоров, А. М. Крайнов, А. Е. Шаханов, Р. В. Ельников // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина. 2015. № 1(27). С. 48 – 54.
4. **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. Т. 19, № 2. С. 18 – 28.
5. **Кульков В. М.** Построение комплекса проектных моделей для параметрического анализа малых космических аппаратов с электроракетными двигателями // Вестник Московского авиационного института. 2012. Т. 19, № 4. С. 44 – 55.

6. **Попов Г. А., Обухов В. А., Кульков В. М., Егоров Ю. Г.** Разработка схемных решений малых космических аппаратов с электроракетными двигателями и анализ возможности использования ЭРД для управления в околоземном космическом пространстве // Труды международного научно-технического семинара «Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации». Алушта, 2005. С. 202.

References

1. **Comparative** evaluation of the effectiveness of promising types of electric propulsion thrusters in the composition of small spacecraft / V. M. Kulkov, V. A. Obukhov, Yu. G. Egorov, A. A. Belik, A. M. Krainov // Vestnik of the Samara state aerospace University named after academician S. P. Korolev «Aviation and space-rocket technique». Samara, 2012. № 4(34). Part 1. P. 187 – 195.
2. **On the problem** of designing small spacecraft with a sustainer electric propulsion system for the investigation of the near-lunar space / V. M. Kulkov, Yu. G. Egorov, A. M. Krainov, A. E. Shakhnov, R. V. Yelnikov // Vestnik NPO im. S. A. Lavochkina. 2013. № 4(20). P. 68 – 74.
3. **On the problem** of designing small spacecraft with electric propulsion power plants for studying minor bodies of the solar system / V. M. Kulkov, Yu. G. Egorov, A. M. Krainov, A. E. Shakhnov, R. V. Yelnikov // Vestnik NPO im. S. A. Lavochkina. 2015. № 1(27). P. 48 – 54.
4. **Kulkov V. M.** Study of design parameters and analysis of the efficiency of unified platforms with electric propulsion thrusters as part of small spacecraft // Vestnik of the Moscow aviation Institute. 2012. V. 19, № 2. P. 18 – 28.
5. **Kulkov V. M.** Construction of a complex of design models for parametric analysis of small spacecraft with electric propulsion thrusters. // Vestnik of the Moscow aviation Institute. 2012. V. 19, № 4. P. 44 – 55.
6. **Popov G. A., Obukhov V. A., Kulkov V. M., Egorov Yu. G.** Development of concept design of small spacecraft with electric propulsion thrusters and the analysis of possibilities of using EPT to control in near-earth space. // Proceedings of the international scientific and technical seminar «Modern technologies in the problems of control, automation and information processing». Alushta, 2005. P. 202.

УДК 62-5

В. М. Гришин, Ву Чонг Туат
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия)

УЧЕТ ДОПУСКОВ В ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация. Рассмотрено исследование особенностей, которые надо учитывать при проектировании пассивно резервированных систем и подсистем ЛА с учетом допусков. Главными особенностями являются: 1) несовпадение назначенных по техническим требованиям и реализуемых структурами резервирования допусков; 2) реализация некоторыми допусками структур кратного и некратного резервирования; 3) наличие критических вероятностей элементов в структурах некратного резервирования.

Ключевые системы: летательные аппараты, привод, допуск, диапазон, вероятности.

V. M. Grishin, Wu Chong Tuat
(Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia)

ACCOUNTING FOR TOLERANCES IN PROBLEMS OF AEROSPACE SYSTEM DESIGN

Abstract. The work is devoted to the study of features that must be considered in the design of passive redundant systems and subsystems of AIRCRAFT with tolerances. The main features are: 1) discrepancy between the tolerances assigned to the technical requirements and implemented by the reservation structures; 2) implementation of some tolerances of multiple and non-multiple reservation structures; 3) the presence of critical probabilities of elements in the structures of non-multiple reservation.

Index terms: aircraft, drive, tolerance, range, probabilities.

Одним из объектов разработки и проектирования являются пассивно резервированные системы, связанные своими выходными параметрами со смежными системами. При этом проектирование таких систем нужно проводить таким образом, чтобы выход из строя всех резервных элементов r из общего числа n не приводил к отклонению их выходных параметров и, как следствие, к отказу смежных систем [1]. Допустимые отклонения при проектировании задаются техническими требованиями. Например, в системах питания топливом двигателя ЛА назначается предельное уменьшение суммарной производительности топливных насосов исходя из требования обеспечения всех режимов работы двигателя. Аналогичная ситуация имеет место в связанных системах: усилитель мощности контура управления – рулевой привод; рулевой привод – исполнительный орган; система питания борта ЛА переменным током – потребители электроэнергии и т.д. Назначаемые при проектировании допуски, как правило, не совпадают с реализуемыми допусками, значения которых определяются дискретной структурой пассивного резервирования. Реализуемый допуск в отно-

сительных величинах определяется выражением: $dW_p = r/n \cdot 100 \%$. При допусках на уменьшение выходного параметра реализуемый допуск должен быть меньше назначаемого по техническим требованиям на проектирование.

При проектировании необходимо также учитывать, что пассивное резервирование с учетом допусков может быть реализовано структурами кратного и некратного резервирования. Следует отметить, что в некоторых источниках некратное резервирование называют резервированием с дробной кратностью [2]. Под кратностью резервирования в работе понимается отношение общего количества элементов к числу основных элементов: $K = m/n$. Для структур кратного резервирования кратность всегда целое число. Для структур некратного резервирования кратность записывается в виде дроби, даже если отношение n/m представляет собой целую величину.

Следует учитывать, что каждый допуск может быть реализован при большом количестве кратностей, начиная с минимальной величины, образуя последовательность возрастающих кратностей: $K_i = n_i/m_i$, $i = 1, 2, 3, \dots$. Подавляющее количество реализуемых допусков обеспечивается структура-

ми некрatного резервирования, причем показатели безотказности структур некрatного резервирования всегда выше показателей структур кратного при одинаковых численностях r и n . Однако системы с некрatным резервированием имеют критические значения вероятностей элементов $p_{кр}$.

Критические значения могут существенно сужать диапазон вероятностей элементов пассивно резервированных систем, называемых закритическими областями, где выгоден данный вид резервирования, что также очень важно учитывать при их проектировании. Критические вероятности $p_{кр}$ зависят как от величин допусков, так и от кратностей резервирования. При любой кратности резервирования с уменьшением (ужесточением) допусков критические значения всегда возрастают, уменьшая закритические области.

Характер зависимостей $p_{кр}$ от кратностей резервирования определяется величинами допусков. При допусках, меньших 20 %, с возрастанием кратностей критические вероятности убывают, увеличивая закритическую область, а при допусках, больших 20 %, возрастают, уменьшая ее.

Библиографический список

1. Епифанов А. Д. Надежность систем управления. М.: Машиностроение, 1975. С. 50.
2. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. СПб.: БХВ-Петербург. 2006. С. 247.

References

1. Epifanov A. D. Reliability of control systems.- Moscow: MachineBuilding, 1975. P. 50.
2. Polovko A. M., Gurov S. V. Fundamentals of reliability theory. SPb.: BHV-Petersburg. 2006. P. 247.

УДК 004.942

А. И. Заведеев
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Аннотация. Приведены результаты исследования динамики гиросиловой системы управления ориентацией космического аппарата в задаче высокоточного определения углового положения объекта с учетом влияния аномальных явлений в условиях космического полета.

Ключевые слова: система управления ориентацией, космический аппарат, влияние аномальных явлений.

SPACECRAFT CONTROL ORIENTATION SYSTEM INVESTIGATION BEARING IN MIND ANOMALOUS PHENOMENA INFLUENCE

А. И. Zavedeev
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

Abstract. The results of the study of the dynamics of a gyrosilic control system for the orientation of a spacecraft in the problem of the high-precision determination of the angular position of an object with allowance for the effect of anomalous phenomena in the conditions of space flight are presented.

Index terms: orientation control system, spacecraft, the influence of anomalous phenomena.

Рассматривается одна из важных проблем, связанных с разработкой систем управления ориентацией (СУО) навигационных, связанных, геодезических спутников, а также космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли с большим сроком активного существования (САС) (более 10 лет) в процессе длитель-

ной эксплуатации в условиях космического полета. Это проблемы, связанные с влиянием на динамику СУО аномальных явлений и возмущающих факторов. Среди них выделим следующие:

- 1) проблема учета влияния упругих колебаний гибких элементов конструкции (панели сол-

нечных батарей, антенны, штанги, элементы составных конструкций и пр.);

2) проблема подвижности жидкости в баках топливной системы реактивных двигателей (РД) двигательной установки ориентации (ДУО);

3) проблемы нелинейностей в приводах гиросиловых исполнительных органов (ИО) и временных запаздываний при измерении углового положения КА и формировании управляющих моментов РД ДУО, тяга которых в течение САС может уменьшаться на порядок.

Традиционной и наиболее продвинутой является первая проблема. В работе [1] предложена методология ее решения для типичных конструкций корпуса аэрокосмических летательных аппаратов.

Исследования, проведенные ФГУП МОКБ «Марс» для КА «Монитор-Э», «Канопус-Вулкан», «Казат», показали, что передаточная функция (ПФ) упругой конструкции представляют собой ПФ колебательных звеньев, включенных параллельно ПФ жесткого объекта, в количестве, равном числу учитываемых тонов [2], а исследования ФГУП «НПО ПМ им. акад. М. Ф. Решетнева» показали, что ПФ упругой конструкции, включенной последовательно ПФ жесткого объекта, представляют собой инерционное и форсирующее звенья второго или четвертого порядка с нулевой относительной степенью [3, 4].

В результате проведенных исследований синтезирована структура и дискретные алгоритмы фильтрации, управления, диагностирования и реконфигурации бортового комплекса, обеспечивающие робастную устойчивость гиросиловой СУО КА во всех режимах, а также ее отказоустойчивость при возникновении наиболее тяжелых повреждений. Эти результаты получены на основе параметрического синтеза алгоритмов управления и анализа робастной устойчивости линеаризованных пространственных движений упругой модели КА при дискретной фильтрации измерений и цифровом (широотно-импульсном) формировании управления ИО с учетом всех временных запаздываний.

Учитывая опыт эксплуатации КА, при разработке алгоритмов контроля и диагностики моделируются типовые отказы, среди них выявляются критические для различных режимов управления, и производят реконфигурацию введением функционального, структурного и программного резерва.

Библиографический список

1. **Заведеев А. И.** Системы управления ориентацией космических аппаратов с упругими элементами конструкции // Сб. науч. тр. «Вопросы управления космическими аппаратами»; под ред. акад. Б. Н. Петрова. М.: Мир, 1975. С. 130 – 164.
2. **Бортовые** системы управления космическими аппаратами: учеб. пособие / А. Г. Бровкин, Б. Г. Бурдыгов, С. В. Гордийко и др.; под ред. А. С. Сырова. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. 304 с.
3. **Раевский В. А., Курбатов Е. М., Сомов Е. И.** Отказоустойчивая гиросиловая система управления движением спутника связи SESat // Авиакосмическое приборостроение. 2003. № 12. С. 38 – 41.
4. **Основы** проектирования активных систем ориентации и стабилизации автоматических космических аппаратов связи на геостационарной орбите: учеб. пособие / В. А. Раевский, Н. А. Тестоедов, М. В. Лукьяненко, Е. Н. Якимов. Красноярск: Изд-во СГАУ, 2016. 496 с.

References

1. **Zavedeev A. I.** Control systems of the orientation of space vehicles with elastic elements of construction // Sb. sci. works «Problems of spacecraft control»; ed. acad. B. N. Petrova. M.: The World, 1975. P. 130 – 164.
2. **On-board** control systems for space vehicles: Uch. manual / A. G. Brovkin, B. G. Burdygov, S. V. Gordiyko and others; ed. A. S. Syrova. M.: Publishing house MAI-PRINT, 2010. 304 p.
3. **Raevsky V. A., Kurbatov E. M., Somov E. I.** Fail-safe gyro-force control system of the SESat communications satellite navigation // Aerospace Instrumentation. 2003. № 12. P. 38 – 41.
4. **The fundamentals** of designing active systems of orientation and stabilization of automatic space vehicles in the geostationary orbit: Uch. allowance / V. A. Raevsky, N. A. Testoyedov, M. V. Lukyanenko, E. N. Yakimov. Krasnoyarsk: Publishing house of SGAU, 2016. 496 p.

Д. В. Лакомов, e-mail: ladenv@yandex.ru, В. В. Алексеев
(ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ АЛГОРИТМА КОНТУРНОГО АНАЛИЗА ПРИ ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ИК-СПЕКТРЕ

Аннотация. Рассмотрена модель обработки изображений инфракрасного диапазона, основанная на применении алгоритма контурного анализа.

Ключевые слова: анализ, изображения, контур, алгоритм Канни, ИК-диапазон.

D. V. Lakomov, V. V. Alekseev
(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

DETERMINE THE OPTIMAL VALUES OF THE PARAMETERS OF THE ALGORITHM CONTOUR ANALYSIS FOR IMAGE PROCESSING IN THE IR-SPECTRUM

Abstract. In this paper considers the imaging model of the infrared range based on the application of the algorithm of contour analysis.

Index terms: analysis, image, contour, Canny algorithm, the IR-range.

В современных системах управления, принятия решений и обработки информации распознавание (идентификация) изображений затруднено тем, что воздействие негативных внешних и внутренних факторов вносит в этот процесс неопределенность, приводящую к размытости изображений. В связи с этим применяются алгоритмы и модели, позволяющие уменьшить влияние неопределенности при анализе изображений.

Одним из самых распространенных детекторов контуров является оператор Канни, разработанный Джоном Канни в 1986 году. О реализации данного алгоритма и пойдет речь [1].

Алгоритм основан на трех критериях:

1. Точное обнаружение.
2. Четкая локализация.
3. Детектор должен реагировать на каждую границу только один раз [2].

Целью статьи является определение оптимальных параметров обработки изображения реализованного алгоритма Канни, модернизированного применением оператора Робинсона.

Выполнение алгоритма Канни начинается с предварительного этапа, на котором изображение преобразуется в градации серого. Для этого достаточно представить изображение в YUV-модели.

Переход из стандартной модели RGB («red», «green», «blue») в модель YUV осуществляется по формулам:

$$\begin{aligned} Y &= 0,299R + 0,587G + 0,114B ; \\ U &= -0,14713R - 0,28886G + 0,426B + 128 ; \\ V &= 0,615R - 0,51499G - 0,10001B + 128 , \end{aligned}$$

где R, G, B – интенсивности красного, зеленого и синего цветов.

В модели YUV цвет представляется в виде трех величин: яркости Y; U и V – две цветоразностные величины. Величина Y содержит яркостную информацию, а по величинам U и V восстанавливается исходный цвет. Восстановление RGB-цветов нам не потребуется, поэтому целесообразно использовать только формулу для поиска величины Y [3, 4].

Исходя из результатов испытаний установлено, что оптимальное значение параметра σ – среднеквадратическое отклонение гауссиана для тестового изображения, находится в диапазоне $[0,5; 1,0]$.

Проведем исследование работы алгоритма для определения оптимального значения верхнего порога при двойной пороговой фильтрации.

Исследование результатов работы алгоритма Канни для верхнего порога $T_{\max}$ показало, что при параметре σ , равном 1, значении нижнего порога $T_{\min}$ в диапазоне $[1; 10]$, оптимальное значение верхнего порога $T_{\max}$ для тестового изображения находится в диапазоне $[40; 50]$.

Проведем исследование работы алгоритма для определения оптимального значения нижнего порога при двойной пороговой фильтрации.

Исследование результатов работы алгоритма Канни для нижнего порога $T_{\min}$ показало, что при параметре σ , равном 1, значении верхнего порога $T_{\max}$ в диапазоне $[40; 50]$, оптимальное значение нижнего порога $T_{\min}$ для тестового изображения находится в диапазоне $[10; 25]$.

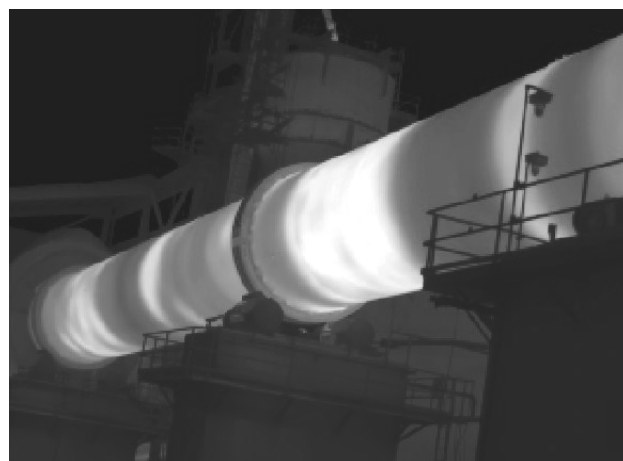
Достоинствами алгоритма Канни являются:

- минимизация множественного отклика на фильтр;
- увеличение значения отношения сигнал/шум;
- улучшенные показатели распознавания на зашумленных изображениях за счет сглаживания.

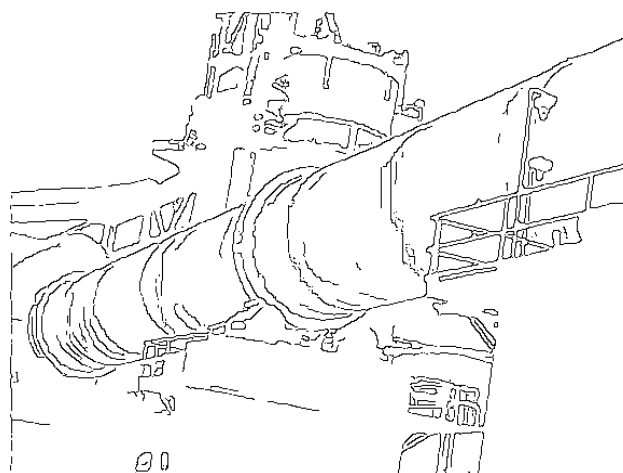
К недостаткам алгоритма можно отнести:

- повышенные временные и вычислительные затраты;
- отсутствие четких критериев выбора порогов, что приводит к искажению и потере части реальных контуров и к появлению ложных контуров;
- округление углов границ объектов, что приводит к повреждению или разрушению границ в точках соединения.

Исходя из приведенных результатов работы алгоритма Канни, оптимальными параметрами алгоритма являются: $\sigma = 1$, $T_{\min} = 20$, $T_{\max} = 45$. Исходное изображение и результат работы алгоритма Канни с данными параметрами приведены на рис. 1.



а)



б)

Рис. 1. Исходное изображение (а) и результат обработки изображения (б)

Библиографический список

1. Потапов А. А. Новейшие методы обработки изображений. М.: Физматлит, 2008. 494 с.
2. Фурман Я. А. Введение в контурный анализ. Приложения к обработке изображений и сигналов. М.: Физматлит, 2003. 592 с.
3. Карасев П. И., Губсков Ю. А. Процедура обработки графических изображений в системах видеонаблюдения. Воронеж: Вестник Воронежского института ФСИН России, 2015. № 2. С. 35 – 37.
4. Алексеев В. В., Громов Ю. Ю., Губсков Ю. А., Ищук И. Н. Методология дистанционной оценки пространственных распределений оптико-теплофизических параметров объектов, замаскированных под

поверхностью грунта. М.: ООО «Научтехлитиздат», 2014. 284 с.

References

1. **Potapov A. A.** The Latest methods of image processing. М.: Fizmatlit, 2008. 494 p.
2. **Furman Ya. A.** Introduction to contour analysis. Application to image processing and signal. М.: Fizmatlit, 2003. 592 p.

3. **Karasev P. I., Guskov Yu. A.** Processing of graphic images in video surveillance systems. Voronezh: Herald of the Voronezh Institute FSIN of Russia, 2015. № 2. P. 35 – 37.

4. **Alekseev V. V. Gromov Yu. Yu., Guskov Yu. A., Ishchuk I. N.** Methodology remote assessment of spatial distributions of optical-thermal parameters of the objects, disguised under the surface. М.: LLC «Nauchtehlitizdat», 2014. 284 p.

УДК 004.657

Л. А. Белобжецкий, e-mail: belobj@mail.ru, **Н. И. Зименов**
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия)

СЕТЕВАЯ ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНАЯ СИСТЕМА ПО КОСМИЧЕСКИМ ПРИБОРАМ И ДАТЧИКАМ

Аннотация. Представлены результаты разработки многопользовательской информационно-справочной системы по космическим приборам и датчикам, построенной на основе СУБД MS SQL SERVER, платформы .NET FRAMEWORK и языке программирования C#. Данная система позволяет повысить эффективность проектирования бортовых космических измерительных комплексов.

Ключевые слова: информационно-справочная система, база данных, космические измерительные комплексы, информационные технологии.

L. A. Belobzheskiy, N. I. Zimenov
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

NETWORK INFORMATION SYSTEM FOR SPACE INSTRUMENTS AND SENSORS

Abstract. The results of the development of a multi-user information and reference system for space instruments and sensors based on the MS SQL SERVER DBMS, .NET FRAMEWORK platform and C# programming language are presented. This system allows to improve the design efficiency of spaceborne measuring systems.

Index terms: information-reference system, database, space measuring complexes, information technologies.

Повышение эффективности разработки бортовых космических измерительных комплексов зависит от оперативного получения информации по новым датчикам и приборам уже на ранних этапах проектирования. Наиболее удобным средством, позволяющим решить эту проблему, является сетевая информационно-справочная система (ИСС), спроектированная с использованием современных информационных технологий и позволяющая предоставлять нужную информацию широкому коллективу разработчиков.

В результате разработки ИСС были получены следующие результаты:

1. На основе анализа и классификации космических датчиков и приборов разработана ИСС в виде сетевой базы данных (БД) и выполнена ее физическая реализация на MS SQL Server 2014.

2. Серверная часть ИСС реализована на СУБД SQL Server 2014, что обеспечило надежное и безопасное хранение данных в БД и предоставило эффективный многопользовательский доступ к ИСС.

3. В современной среде разработки приложений Microsoft Visual Studio версии 2017 года создана клиентская часть ИСС на языках программирования высокого уровня C#, T-SQL,

LINQ, XML и XAML. Это позволило реализовать на практике сложный алгоритм сбора, хранения и вывода информации по космическим датчикам и приборам любого типа, возможность добавления, редактирования и удаления данных из ИСС, а также многокритериальный поиск требуемых устройств.

4. Безопасность доступа к данным обеспечивается аутентификацией пользователей на уровне приложения и сервера.

5. Надежность базы данных обеспечена с помощью метода автоматического резервирования информации, репликации данных на резервный сервер, а также использованием резервного сервера в случае отказа основного.

6. Клиентское приложение установлено на компьютерах разработчиков ИСС, связанных с сервером по локальной сети.

Рассмотренная ИСС может быть использована как на предприятии, разрабатывающем бортовые космические ИВК, так и в учебном процессе при подготовке специалистов в области авиационно-космического приборостроения. Это программное обеспечение установлено в локальной сети кафедры 305 МАИ. Программа демонстрирует эффективность и надежность в многопользовательском режиме, а также существенно упрощает процесс поиска нужной информации по измерительной технике.

УДК 656.021.052:004

Йин Наинг Вин, аспирант, e-mail: integratedchip.88@gmail.com
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОЛЬЦЕВОГО МИКРООПТОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОГО ТУННЕЛЬНОГО ЭФФЕКТА

Аннотация. Разработана методика расчета кольцевого микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости на основе оптического туннелирования.

Ключевые слова: методика расчета, преобразователь угловой скорости, оптический туннельный эффект, кольцевой резонатор.

Yin Naing Win
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

METHOD OF CALCULATION OF RING MICROOPTOELECTROMECHANICAL ANGULAR VELOCITY TRANSDUCER BASED ON OPTICAL TUNNELING EFFECT

Abstract. In this paper the method of calculation of ring microoptoelectromechanical angular velocity transducer based on optical tunneling effect is provided.

Index terms: method of calculation, the angular velocity transducer, optical tunnel effect, the ring resonator.

В кольцевом микрооптоэлектромеханическом преобразователе угловой скорости на основе оптического туннелирования первичный преобразователь состоит из призмы, основания и воспринимающего элемента кольцевого резонатора (КР).

Предложена методика расчета такого преобразователя угловой скорости на основе ОТЭ, в которой предложена следующая последовательность действий. Сначала определяются зависимость амплитуды второго движения кольцевого резонатора от измеряемой угловой скорости.

сти, чувствительность отражательной способности к зазору и выбирается источник излучения с наибольшей длиной волны излучения. Потом производится анализ функции преобразования и выбирается угол падения излучения θ с учетом угла полного внутреннего отражения, обеспечивающего получение наибольшей чувствительности.

При определении сигналов в преобразователе на основе ОТЭ рассчитываются: зависимости изменения зазора от угловой скорости $d = f(\Omega)$, оптическая мощность, достигающая на фотоприемнике $P_{\text{ФП}} = f(\Omega)$, выходные напряжения преобразователя от угловой скорости Ω для каждого канала и дифференциальной схемы считывания выходных сигналов. Затем определяется основная погрешность, нелинейность функции преобразования и погрешности влияния температуры и линейного ускорения.

Для моделирования кольцевого микроопто-электромеханического преобразователя угловой скорости на основе ОТЭ применена методика расчета данного преобразователя с различными конструктивными параметрами КР и исследованы характеристики и функция преобразования.

Библиографический список

1. Бусурин В. И., Коробков В. В., Ёин Наинг Вин. Исследование характеристик кольцевого волнового оптоэлектронного преобразователя угловой скорости // МАУ. 2016. Т. 17, № 5. Р. 340 – 346.

References

1. Busurin V. I., Korobkov V. V., Yin Naing Win. Investigation of Characteristics of the Optoelectronic Ring Wave Angular Velocity Transducer // Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie. 2016. V. 17, № 5. P. 340 – 346.

УДК 681.7.01

М. А. Белоусов, Д. Ю. Зобачев, К. В. Коффер, e-mail: root@ppk.perm.ru
(ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания», Пермь, Россия)

ГИБКОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАБОЧИМИ ПАРАМЕТРАМИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ

Аннотация. Рассмотрен один из возможных вариантов решения проблемы по построению волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) с возможностью изменения рабочих параметров датчика без изменения его конструктива. Предложен один из рациональных вариантов расширения спектра применения волоконно-оптического гироскопа за счет работ на разной глубине вспомогательной фазовой модуляции. Показано, что предложенный алгоритм позволяет снизить уровень шумовой составляющей показаний ВОГ без изменения конструктива.

Ключевые слова: волоконно-оптический гироскоп, глубина модуляции, случайное блуждание угла.

М. А. Belousov, D. Yu. Zobachev, K. V. Koffer
(PJS «Perm Scientific-Industrial Instrument Making Company», Perm, Russia)

FIBER-OPTIC GYROSCOPES OPERATING PARAMETERS FLEXIBLE CONTROL

Abstract. In this paper we consider one of the possible variants to solve a problem of fiber-optic gyroscopes construction developing with possibility of the sensor performance change without changing its structural elements. One of the optimal variants to increase fiber-optic gyroscope application range by working at various modulation depths is suggested. It is shown that this algorithm allows decreasing a level of FOG readings noise without changing its structural elements.

Index terms: fiber-optic gyroscopes, modulation depth, angle random walk.

В настоящее время существует потребность в бесплатформенных инерциальных навигационных системах (БИНС) и инерциальных изме-

рительных блоках (ИИБ) с широким спектром требований по точностным характеристикам, стойкости к различным внешним воздействи-

шим факторам и весогабаритным характеристикам [1, 2, 4, 5].

Актуальной задачей в ПАО «ПНППК» является разработка линейки волоконно-оптических гироскопов (ВОГ), предназначенных для решения широкого спектра требований, с внесением минимальных конструктивных изменений, что позволит снизить трудозатраты при производстве БИНС и ИИБ на ВОГ. С этой целью предложен алгоритм подбора глубины вспомогательной фазовой модуляции расчетным методом с последующим подтверждением расчетных значений характеристик шумовой составляющей ВОГ.

В качестве теоретической оценки, случайной составляющей погрешностей ВОГ предложена величина коэффициента случайного блуждания угла (ARW), равная квадратному корню суммы квадратов трех шумовых составляющих: дробового шума фотоприемника (SHOT NOISE), теплового шума предварительного усилителя фотоприемника (THERMAL NOISE), шума интенсивности источника оптического излучения (RIN) [3, 6]. Каждая из этих шумовых составляющих имеет тригонометрическую зависимость от рабочей глубины вспомогательной фазовой модуляции ВОГ.

На основании теоретических оценок проведен ряд экспериментов по замерам уровней шумовых составляющих показаний гироскопов с разной глубиной вспомогательной фазовой модуляции для основных конструкций ВОГ, разрабатываемых в ПАО «ПНППК»:

ВОГ-70 – ВОГ со средним и высоким уровнями случайной составляющей погрешности (ARW от 0,01 до $0,0043^\circ/\sqrt{ч}$), предназначенный для построения на его базе малогабаритных систем;

ВОГ-120 – ВОГ со средним и низким уровнями случайной составляющей погрешности (ARW от 0,0025 до $0,0003^\circ/\sqrt{ч}$), предназначенный для построения на его базе точных систем средних габаритов.

В результате экспериментов по замерам шумовых составляющих показаний ВОГ была получена сходимости расчетных значений с экспериментальными данными.

По результатам проделанного исследования предложена методика гибкого управления рабочими параметрами ВОГ с одинаковыми конструктивными параметрами чувствительных элементов, предназначенными для применения в системах на базе ВОГ с различными требованиями по точности и устойчивости к внешним воздействующим факторам.

Библиографический список

1. Телига А. И., Сиренко В. Г., Осетров П. А., Колеватов А. П. Маршрутно-навигационная система топoprивязки и ориентирования подвижных объектов зенитных ракетных систем и комплексов // Научные технологии. 2011. № 12. С. 21 – 26.
2. Ударостойкая комбинированная бесплатформенная инерциальная навигационная система на основе волоконно-оптических и микромеханических гироскопов / А. Г. Андреев, В. С. Ермаков, А. П. Колеватов и др. / Научно-технический центр «Информтехника» – филиал ФГУП «НИИСУ» // Оборонная техника. 2015. № 11–12. С. 12 – 18.
3. Пат. на изобретение RU 2495376 C1. Источник излучения с низким уровнем шумов интенсивности для волоконно-оптического гироскопа / А. М. Курбатов, Р. А. Курбатов // зарег. в Федеральной службе по интеллектуальной собственности РФ 10.10.2013.
4. FOG based INS for satellite launcher application / D. Grifi, R. Senatore, E. Quattraro et al. // Proc. DGON Inertial Sensors and Systems – Symposium Gyro Technology 2017, Karlsruhe, Germany, 19–20 September 2017. P. P05.1 – P05.12.
5. Probst U., Deck M., Voigt S. LFK-150: Development of a high-accuracy Marine Inertial Reference System // Proc. DGON Inertial Sensors and Systems – Symposium Gyro Technology 2017, Karlsruhe, Germany, 19–20 September 2017. P. P21.1 – P21.17.
6. Guattari F., Chouvin S., Moluçon C., Lefèvre. A Simple Optical Technique to Compensate for Excess RIN in a Fiber-Optic Gyroscope – IXBlue France. Karlsruhe, 2014.

References

1. Teliga A. I., Sirenko V. G., Osetrov P. A., Kulevatov A. P. Marshrutno-navigatsionnaya sistema topopriv'yazki i oriyentirovaniya podvizhnykh ob'yektov zenitnykh raketnykh sistem i kompleksov // Nauchnyomkiye tekhnologii. 2011. № 12. P. 21 – 26.

2. **Udarostoykaya** kombinirovannaya besplatformennaya inertsiyal'naya navigatsionnaya sistema na osnove volokonno-opticheskikh i mikromekhanicheskikh giroskopov / A. G. Andreyev, V. S. Yermakov, A. P. Kolevatov et al. / Nauchno-tekhnicheskiy tsentr «Inform-tekhnika» – filial FGUP «NIISU» // Oboronnaya tekhnika. 2015. № 11–12. P. 12 – 18.

3. **Pat.** na izobreteniyе RU 2495376 C1. Istochnik izlucheniya s nizkim urovnem shumov intensivnosti dlya volokonno-opticheskogo giroskopa / A. M. Kurbatov, R. A. Kurbatov // zareg. v Federal'noy sluzhbe po intelektual'noy sobstvennosti RF 10.10.2013.

4. **FOG** based INS for satellite launcher application / D. Grifi, R. Senatore, E. Quatraro et al. // Proc.

DGON Inertial Sensors and Systems – Symposium Gyro Technology 2017, Karlsruhe, Germany, 19–20 September 2017. P. P05.1 – P05.12.

5. **Probst U., Deck M., Voigt S.** LFK-150: Development of a high-accuracy Marine Inertial Reference System // Proc. DGON Inertial Sensors and Systems – Symposium Gyro Technology 2017, Karlsruhe, Germany, 19–20 September 2017. P. P21.1 – P21.17.

6. **Guattari F., Chouvin S., Moluçon C., Lefèvre.** A Simple Optical Technique to Compensate for Excess RIN in a Fiber-Optic Gyroscope» – IXBlue France. Karlsruhe, 2014.

УДК 681.2.08

Д. Ю. Зобачев, Ю. В. Ившина, e-mail: ivshina@pnppk.ru, **А. Е. Морозов, Т. А. Ульяновская** (ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания», Пермь, Россия)

ОСОБЕННОСТИ КАЛИБРОВКИ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ НАВИГАЦИОННОГО КЛАССА ТОЧНОСТИ

Аннотация. Описано изменение методики калибровки акселерометров, позволяющее учесть систематические составляющие, что приводит к уменьшению величины суммарной ошибки инерциального датчика в конечном приборе.

Ключевые слова: акселерометр, калибровка, модель ошибок.

D. Yu. Zobachev, Yu. V. Ivshina, A. E. Morozov, T. A. Ulyanovskaya (PJS «Perm Scientific-Industrial Instrument Making Company», Perm, Russia)

SPECIAL ASPECTS OF NAVIGATION ACCURACY GRADE ACCELEROMETERS CALIBRATION

Abstract. The change in accelerometer calibration method is described in the report. The method change allows taking into account the accelerometer systematic components that leads to decrease in resulting error of end device inertial sensor.

Index terms: accelerometer, calibration, error model.

В настоящее время к инерциальным навигационным системам выдвигаются новые требования и ужесточаются существующие, например такие [1]:

- повышение точностных характеристик;
- малое время готовности;
- широкий температурный диапазон эксплуатации прибора;
- и др.

В связи с этим ужесточаются требования к инерциальным датчикам, а также к средствам и методикам их калибровки.

В данной работе рассматриваются уточнение модели ошибки применяемых акселерометров и уточнение методики калибровки.

Актуальность темы состоит в том, что разработанные акселерометры на сегодняшний момент не в полной мере удовлетворяют вновь вводимым требованиям.

В большинстве случаев конструкторская и эксплуатационная документация на существующие акселерометры дает неполную информацию о модели ошибок акселерометра, в частности при калибровке учитываются следующие

составляющие: смещение нуля, масштабный коэффициент и перекосы осей чувствительности [1 – 3]. В связи с этим разработчики систем сталкиваются с увеличенной нескомпенсированной систематической ошибкой акселерометра, которую часто относят к случайной составляющей, вследствие чего суммарная ошибка не удовлетворяет установленным требованиям на данный инерциальный датчик.

В работе рассматриваются две ошибки акселерометра:

- температурный гистерезис тяжения;
- несимметричность тяжения в положениях акселерометра: $\pm 1g$ и $\pm 0g$.

При учете описанных составляющих в модели ошибок акселерометра удастся снизить общую ошибку акселерометра после калибровки в составе системы. Это позволяет уменьшить количество бракуемых акселерометров при оценке точностных характеристик в конечном изделии.

Библиографический список

1. **Матвеев В. В., Распопов В. Я.** Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем; под общ. ред. В. Я. Распопова. СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. 280 с.
2. **Salychev O.** Inertial Systems in Navigation and Geophysics. M.: Bauman MSTU Press, 1998.
3. **Методы** калибровки БИНС на грубых и точных стендах / А. А. Голован, Н. Б. Вавилова, И. А. Васинева и др. // Навигация и управление летательными аппаратами: тр. МИЭА. 2016. Вып. 15. С. 10 – 16.

References

1. **Matveyev V. V., Raspopov V. Ya.** Osnovy postroyeniya besplatformennykh inertsiyal'nykh navigatsionnykh sistem; pod obshch. red. V. Ya. Raspopova. SPb.: GNTS RF ОАО «Kontsern «TSNII «Elektro-pribor», 2009. 280 s.
2. **Salychev O.** Inertial Systems in Navigation and Geophysics. M.: Bauman MSTU Press, 1998.
3. **Metody** kalibrovki BINS na grubyykh i tochnyykh stendakh / A. A. Golovan, N. B. Vavilova, I. A. Vasineva et al. // Navigatsiya i upravleniye letatel'nyimi apparatami: trudy MIEA. 2016. Vyp. 15. S. 10 – 16.

Ю. В. Ившина, e-mail: ivshina@pnppk.ru, Т. А. Ульяновская, Д. Ю. Зобачев
(ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания», Пермь, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Для повышения точности бесплатформенных инерциальных навигационных систем предложен двухэтапный подход к выполнению калибровки и проведению приемо-сдаточных испытаний. С помощью предложенного подхода удастся оценить методические погрешности проведения приемо-сдаточных испытаний и уточнить калибровочные коэффициенты с учетом особенности работы прибора на объекте.

Ключевые слова: навигационные системы, калибровка, приемо-сдаточные испытания, испытательные стенды.

Yu. V. Ivshina, T. A. Ulyanovskaya, D. Yu. Zobachev
(PJS «Perm Scientific-Industrial Instrument Making Company», Perm, Russia)

ADDITIONAL CALIBRATION APPLICATION TO IMPROVE INERTIAL NAVIGATION SYSTEMS ACCURACY

Abstract. Two-stage calibration method and acceptance tests are proposed to improve the accuracy of strap-down inertial navigation systems. Proposed method is possible to estimate the acceptance tests methodological errors and to improve calibration factors taking into account peculiarities of a device operation at installation on object.

Index terms: navigation systems, calibration, acceptance tests, test apparatus.

Для бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС) всегда актуальны вопросы, связанные с точностью и качеством проведения процесса калибровки. При разработке новых инерциальных навигационных систем с увеличенными точностными характеристиками оказалось, что методики калибровки, применяемой для существующих инерциальных навигационных систем, недостаточно. Помимо этого для таких систем недостаточным оказывается и точность контрольно-измерительной аппаратуры при проведении приемо-сдаточных испытаний (ПСИ). Поэтому работы, связанные с дополнительной калибровкой и юстировкой систем, являются актуальными.

В данной работе предлагается следующий двухэтапный подход к совершенствованию калибровки и проведению ПСИ. На первом этапе предлагается проводить юстировку изделия к испытательному стенду способами, предложенными в работах [1, 2]. Юстировка позволяет учитывать систематическую ошибку, появляющуюся при перестановке изделия с одного испытательного стенда на другой, которая для ранее выпускаемых систем была незначительной. На втором этапе

предлагается проводить дополнительную калибровку БИНС на данных, полученных при выполнении ПСИ, используя методы оптимальной обработки информации [3], это позволяет уточнять калибровочные коэффициенты, полученные методом стандартной калибровки, учитывая эксплуатационные особенности применения изделия.

Применение этого двухэтапного подхода позволяет оценить методические погрешности, связанные с технологическим процессом проведения ПСИ; уточнить калибровочные коэффициенты с учетом особенностей применения изделий на конечном объекте; и, как следствие, повысить точностные характеристики БИНС.

Библиографический список

1. Колеватов А. П., Куликов А. В., Ульяновская Т. А. Юстировка инерциальной системы без применения специальной измерительной аппаратуры // Сб. докл. XXX конф. памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов Н. Н. Острякова. СПб.: Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор», 2016. С. 164 – 168.
2. Пат. РФ № 2555515, кл. G 01 C 25/00. Способ юстировки бесплатформенной инерциальной системы ориентации / А. Г. Андреев, В. С. Ермаков,

А. П. Колеватов, А. В. Куликов, Т. А. Ульяновская; заявка № 2014100870; зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 08 июня 2015 г.

3. **Степанов О. А.** Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч. 1. Введение в теорию оценивания. СПб.: ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2017.

References

1. **Kolevaton A. P., Kulikov A. V., Ul'yanovskaya T. A.** Yustirovka inertsiyal'noy sistemy bez primeneniya spetsial'noy izmeritel'noy apparatury // Sb. dokl.

XXX konf. pamyati vydayushchegosya konstruktora giroskopicheskikh priborov N. N. Ostryakova. SPb.: Kontsern «Tsentral'nyy nauchno-issledovatel'skiy institut «Elektropribor», 2016. S. 164 – 168.

2. **Pat. RF № 2555515**, kl. G 01 C 25/00. Sposob yustirovki besplatformennoy inertsiyal'noy sistemy orientatsii / A. G. Andreev, V. S. Ermakov, A. P. Kolevaton, A. V. Kulikov, T. A. Ul'yanovskaya. Zayavka № 2014100870; zaregistrirovano v Gosudarstvennom reestre izobreteniy Rossiyskoy Federatsii 08 iyunya 2015 g.

3. **Stepanov O. A.** Osnovy teorii otsenivaniya s prilozheniyami k zadacham obrabotki navigatsionnoy informatsii. Ch. 1. Vvedenie v teoriyu otsenivaniya. SPb.: GNTs RF AO «Kontsern «TsNII «Elektropribor», 2017.

УДК 519.6

А. П. Колеватов, e-mail: kolevaton@ppk.perm.ru, **Т. А. Ульяновская**
(ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания», Пермь, Россия)

КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ ТЕПЛОВОГО ДРЕЙФА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Аннотация. Предложена классификация типовых дефектов волоконно-оптического гироскопа (ВОГ). Классы дефектов выбраны на основе анализа оптических блоков в составе бесплатформенной инерциальной навигационной системы по результатам температурной калибровки. Приведены математические методы и численные алгоритмы по идентификации и классификации дефектов ВОГ, в основе которых лежит статистический анализ временных рядов и элементы теории приближений.

Ключевые слова: волоконно-оптический гироскоп, тепловой дрейф, автоматизация, статистика, идентификация.

A. P. Kolevaton, T. A. Ulyanovskaya
(PJS «Perm Scientific-Industrial Instrument Making Company», Perm, Russia)

FIBER-OPTIC GYROSCOPE THERMAL DRIFT DEFECTS CLASSIFICATION BASED ON TEMPERATURE CHANGE TESTS RESULTS OF STRAP-DOWN INERTIAL NAVIGATION SYSTEM

Abstract. Fiber-optic gyroscope (FOG) typical defects classification is describes in the report. Defects classes were chosen based on optical units' analysis in strap-down inertial navigation system. The analysis is based temperature calibration results. Mathematical methods and numerical algorithms for FOG defects identification and classification are proposed in the paper based on time series statistical analysis and approximation theory.

Index terms: fiber optic gyros, thermal drift, automation, identification, statistics.

В настоящее время общепринятая модель теплового дрейфа ВОГ состоит из двух основных компонент: 1) смещение нуля, зависящее от

стационарной температуры; 2) смещение нуля, зависящее от скорости изменения температуры, так называемый «эффект Шьюпа» [1 – 4]. Причем

в модели данные составляющие имеют линейную зависимость. Однако на практике при контроле точностных параметров систем, построенных на базе ВОГ, на этапе калибровки наблюдаются формы теплового дрейфа, имеющие сложную зависимость от внешних факторов. Такие отклонения дрейфов ВОГ являются «дефектами ВОГ». Сделана попытка классифицировать наиболее часто встречающиеся дефекты для дальнейшего изучения и математического описания.

Разработанная классификация содержит следующие дефекты ВОГ:

- 1) смещение нуля на установившейся температуре;
- 2) «S-образность» теплового дрейфа ВОГ;
- 3) неправильная форма дрейфа (НФД) ВОГ;
- 4) опережение/запаздывание дрейфа относительно скорости изменения температуры;
- 5) уровень шумовой составляющей дрейфа ВОГ;
- 6) выбросы;
- 7) прочие погрешности (погрешности термодатчиков и т.д.).

В настоящей работе предложены методы, позволяющие автоматически идентифицировать и классифицировать дефекты ВОГ.

Библиографический список

1. **Shupe D. M.** Thermally induced nonreciprocity in the fiber optic interferometer // *Applied Optics*. 1980. № 9. P. 654–655.
2. **Hervé C. Lefèvre.** The Fiber-Optic Gyroscope. Second Edition – Artech House, 2014. P. 90 – 99.
3. **Джашитов В. Э., Панкратов В. М.** Датчики, приборы и системы авиакосмического и морского приборостроения в условиях тепловых воздействий // Россия – СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2005.
4. **IEEE Standard** Specification Format Guide and Test Procedure for Single- Axis Interferometric Fiber Optic Gyros / The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., USA, 1998. 78 p.

References

1. **Shupe D. M.** Thermally induced nonreciprocity in the fiber optic interferometer // *Applied Optics*. 1980. № 9. P. 654–655.
2. **Hervé C. Lefèvre.** The Fiber-Optic Gyroscope. Second Edition – Artech House, 2014. P. 90 – 99.
3. **Dzhashitov V. E., Pankratov V. M.** Datchiki, pribory i sistemy aviakosmicheskogo i morskogo priborostroyeniya v usloviyakh teplovykh vozdeystviy // Rossiya – Sankt-Peterburg: TSNII «Elektropribor», 2005.
4. **IEEE Standard** Specification Format Guide and Test Procedure for Single- Axis Interferometric Fiber Optic Gyros / The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., USA, 1998. 78 p.

УДК 629.7.054.07

Р. В. Жарков, инженер, И. М. Кузнецов, e-mail: im.kyznetsov@gmail.com,
науч. рук. – ст. преп. каф. 305 И. М. Кузнецов
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия)

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ОТКАЗОВ ФУНКЦИОНАЛЬНО ИЗБЫТОЧНОЙ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация. Рассмотрен алгоритм системы обеспечения отказоустойчивости на основе анализа статистических характеристик невязок измерений бесплатформенной инерциальной навигационной системы, обладающей функциональной избыточностью. Приведены результаты имитационного моделирования.

Ключевые слова: бесплатформенная инерциальная навигационная система, функциональная избыточность, отказоустойчивость.

R. V. Zharkov, I. M. Kuznetsov
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

REDUNDANT STRAPDOWN INERTIAL NAVIGATION SYSTEM FAILURE DETECTION ALGORITHM

Abstract. The report considers fault tolerant system algorithm based on the analysis of functional redundant strapdown inertial navigation system measurement residuals statistical characteristics. The results of simulation are presented.

Index terms: strapdown inertial navigation system, functional redundancy, fault-tolerance.

Система обеспечения отказоустойчивости инерциальных измерений предназначена для выявления отказа в измерениях инерциального измерительного блока (ИИБ) и идентификации отказавшего датчика бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС). Под отказом инерциального датчика ИИБ понимается превышение оценки погрешности измерений границ допустимого диапазона значений [1, 2].

Для обнаружения сбойных измерений, вызванных отказом инерциальных датчиков, проявляющимся не только в виде скачкообразного изменения показаний, но и в нарастающей погрешности (отказы среднего и невысокого уровня), используется алгоритм проверки нулевой гипотезы о несмещенности невязок уравнений соответствия, альтернативой которой является гипотеза о наличии среднего в невязках выше порогов, установленных по данным производителей инерциальных датчиков и подтвержденных результатами экспериментов (имитационное и полунатурное моделирование). Проверка гипотезы о равенстве нулю средних значений разностей осуществляется на основе критерия нормированной разности (критерия Стьюдента) между

фактически полученными статистическими характеристиками и прогнозируемыми.

В работе рассматриваются результаты моделирования разработанного алгоритма, проведенного имитационным методом на основе разработанной методики исследования с использованием созданного программно-алгоритмического комплекса [3].

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

Библиографический список

1. Pomykaev I. I., Seleznev V. P., Dmitrochenko L. A. Navigation devices and systems. M.: Mashinostroenie, 1983.
2. Aleshin B. S., Tyuvin A. V., Chernomorsky A. I., Plekhanov V. E. Strapdown inertial navigation systems development. M.: MAI-PRINT, 2009. 396 p.
3. Antonov D. A., Zharkov M. V., Kuznetsov I. M., Tchernodoubov A. Y. Vehicle navigation system accuracy and noise immunity improvement techniques / Trudy MAI. 2016. № 90.

УДК 531.781.2

В. И. Бусурин¹, e-mail: vbusurin@mai.ru, **М. А. Жеглов²**, e-mail: mazheglov@mail.ru,
К. А. Коробков³, e-mail: kane_and_lynch@bk.ru
(^{1,3} ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия;
² АО «Государственный научно-исследовательский институт приборостроения», Москва, Россия)

РАЗРАБОТКА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ УСКОРЕНИЙ НА ЭФФЕКТЕ ОПТИЧЕСКОГО ТУННЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Разработана структура преобразователя ускорений на основе оптического туннельного эффекта с контуром стабилизации чувствительного элемента. Предложен макет для экспериментальной проверки работоспособности датчика ускорений на оптическом туннельном эффекте и проведено моделирование.

Ключевые слова: акселерометр, оптический туннельный эффект, изгибные деформации, контур коррекции.

V. I. Busurin¹, M. A. Zheglov², K. A. Korobkov³
(^{1,3} Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia;
² Joint Stock Company «State Scientific Research Institute of Instrument Engineering», Moscow, Russia)

DEVELOPMENT OF AN ACCELERATOR CONVERTER ON THE EFFECT OF OPTICAL TUNNELING

Abstract. The structure of the converter of accelerations on the basis of the optical tunneling effect with the contour of stabilization of the sensitive element is developed. A model for experimental verification of the performance of the acceleration sensor on the optical tunnel effect was developed and modeling was carried out.

Index terms: accelerometer, optical tunneling effect, bending deformations, correction loop.

В настоящее время во многих прикладных задачах востребовано измерение ускорений: при построении бесплатформенных инерциальных навигационных систем, для стабилизации оси резонатора твердотельного волнового гироскопа и др. Предложено использовать преобразователь линейных ускорений за счет измерения изгибных микродеформаций оптической пластины, которые измеряются с помощью оптического туннельного эффекта (ОТЭ) [1]. ОТЭ позволяет измерять субмикронные перемещения порядка длины волны излучения. Оптический преобразователь ускорений построен по дифференциальной схеме, в которой полезным сигналом является оптическая мощность, переходящая из чувствительного элемента (ЧЭ) в виде плоскопараллельной пластины, подвергаемой изгибной деформации, в цилиндрический элемент. Для расширения диапазона измерений и предотвращения механического контакта ЧЭ предлагается ввести дополнительный контур стабилизации с компенсационными электродами и электронным блоком формирования компенсационных воздействий. Контур стабилизации ЧЭ пре-

образователя ускорения является следящей системой управления и в зависимости от деформации ЧЭ возвращает его в первоначальное положение с помощью электростатических воздействий. Проведено полунатурное моделирование, получены и проанализированы экспериментальные данные о влиянии внешних факторов на качество передачи мощности оптического сигнала.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-08-00447-а).

Библиографический список

1. Бусурин В. И., Коробков В. В., Наинг Хту Лвин, Фан Анх Туан. Статические и динамические характеристики преобразователей угловой скорости и ускорения на основе оптического туннельного эффекта // Журнал Физики. Сер. конференций 737. 2016. С. 1 – 7.

References

1. Busurin V. I., Korobkov V. V., Naing Htoo Lwin, Phan Anh Tuan. Static and dynamic characteristics of angular velocity and acceleration transducers based on optical tunneling effect // Journal of Physics. Conference Series 737. 2016. P. 1 – 7.

УДК 629.7.05.67:629.7.054.44

Е. О. Арискин, М. Р. Миннебаев

(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ»,
Казань, Россия)

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕКТОРА ВЕТРА НА СТАРТОВЫХ И ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНЫХ РЕЖИМАХ ВЕРТОЛЕТА

Аннотация. Рассмотрены актуальность и проблемы измерения скорости и угла направления ветра на борту вертолета, особенности формирования информативных сигналов и построения системы на основе ионно-меточных и аэрометрических измерительных каналов.

Ключевые слова: вертолет, стартовые и взлетно-посадочные режимы, вектор ветра, параметры, измерение, система, информативные сигналы, особенности формирования и восприятия.

Е. О. Ariskin, M. R. Minnebaev

(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan, Russia)

FOUNDATIONS OF CONSTRUCTION OF THE MEASURING SYSTEM OF PARAMETERS OF THE WIND VECTOR ON THE STARTING AND TAKEOFF AND LANDING MODES OF THE HELICOPTER

Abstract. The article deals with the relevance and problems of measuring the speed and angle of the wind direction on board the helicopter, especially the formation of informative signals and the construction of a system based on ion-mark and aerometric measurement channels.

Index terms: helicopter, starting and takeoff and landing modes, wind vector, parameters, measurement, system, informative signals, features of formation and perception.

Эксплуатация вертолетов происходит в приземном возмущенном слое атмосферы в условиях воздействия опасных ветровых воздействий, и для предотвращения опасных ситуаций экипажу необходима достоверная информации о текущем значении скорости и угла направления вектора ветра относительно продольной оси вертолета [1].

Однако при расположении приемников первичной информации на борту вертолета на их работу оказывают значительное влияние индуктивные потоки несущего винта, что ограничивает измерения параметров вектора ветра на стоянке, стартовых и взлетно-посадочных режимах при малых скоростях полета.

Возможность измерения параметров вектора ветра на борту вертолета обеспечивает: предложение [2] использовать для целей измерения информации аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта и ее восприятие бортовым неподвижным многофункциональным аэрометрическим приемником [2, 3]. Однако не-

обходимость защиты от обледенения, попадания влаги, пыли и других частиц набегающего воздушного потока снижает надежность работы такой системы в условиях реальной эксплуатации.

Для повышения надежности и улучшения других эксплуатационных характеристик предложено [4] построить бортовую систему измерения параметров вектора ветра на основе неподвижного комбинированного приемника с ионно-меточными и аэрометрическими измерительными каналами.

По предложенным алгоритмам определяются скорость и угол направления вектора ветра на всех режимах эксплуатации вертолета.

Повышенная надежность работы в условиях реальной эксплуатации определяет конкурентное преимущество предлагаемой системы и перспективы применения на одновинтовых вертолетах различного класса и назначения.

Работа выполнена по гранту РФФИ № 18-38-00182.

Библиографический список

1. Ерусалимский М. А., Егоров В. Н. Экипажам вертолета информационную поддержку // Авиасоюз. 2011. № 2. С. 24 – 26.
2. Солдаткин В. В. Система воздушных сигналов вертолета на основе неподвижного комбинированного приемника и информации аэрометрического поля вихревой колонны несущего винта: монография. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. 284 с.
3. Никитин А. В., Солдаткин В. В., Солдаткин В. М. Система измерения параметров вектора ветра на стартовых и взлетно-посадочных режимах вертолета // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013. № 6. С. 64 – 70.
4. Пат. на изобретение РФ № 2587389, МПК В 64 D 43/00. Бортовая система измерения параметров вектора ветра на стоянке, стартовых и взлетно-посадочных режимах вертолета / В. М. Солдаткин, В. В. Солдаткин, Ф. А. Ганеев, Е. О. Аришкин, Н. Н. Макаров, В. П. Деревянкин, О. И. Кузнецов, Д. А. Истомин; заявл. 10.12.2014; опубл. 20.06.2016, Бюл. № 17.

References

1. Erusalimskij M. A., Egorov V. N. Ekipazham vertoleta informacionnuyu podderzhku // Aviasoyuz. 2011. № 2. S. 24 – 26.
2. Soldatkin V. V. Sistema vozdushnyh signalov vertoleta na osnove nepodvizhnogo kombinirovannogo priemnika i informacii aehrometricheskogo polya vihrevoj kolonny nesushchego vinta: monografiya. Kazan': Izd-vo Kazan. gos. tekhn. un-ta, 2012. 284 s.
3. Nikitin A. V., Soldatkin V. V., Soldatkin V. M. Sistema izmereniya parametrov vektora vetra na startovyh i vzletno-posadochnyh rezhimakh vertoleta // Mekhatronika, avtomatizaciya, upravlenie. 2013. № 6. S. 64 – 70.
4. Patent na izobretenie RF № 2587389, MPK B 64 D 43/00. Bortovaya sistema izmereniya parametrov vektora vetra na stoyanke, startovyh i vzletno-posadochnyh rezhimakh vertoleta / V. M. Soldatkin, V. V. Soldatkin, F. A. Ganeev, E. O. Ariskin, N. N. Makarov, V. P. Derevyankin, O. I. Kuznecov, D. A. Istomin; zayavl. 10.12.2014; opubl. 20.06.2016, Byul. № 17.

УДК 681.121.89.082.4

С. И. Герасимов, асс., e-mail: ger_si@inbox.ru, И. Н. Желбаков, д-р техн. наук, зав. каф. (ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ЗОНДИРУЮЩИХ СИГНАЛОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЖИДКОСТНОГО РАСХОДОМЕРА

Аннотация. Рассмотрены особенности применения методов цифровой обработки сигналов в ультразвуковых расходомерах на примере корреляционного анализа сигналов. Показано, что задача определения расхода сводится к измерению времени распространения сигналов, что предъявляет весьма жесткие требования к разрешающей способности измерителей времени.

Ключевые слова: ультразвук, расходомер, время-пролетный, точность, погрешность измерения, зондирующий, цифровая обработка сигналов, корреляционный, интерполяция.

S. I. Gerasimov, I. N. Zhelbakov

(National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE PROBING SIGNALS CORRELATION PROCESSING OF AN ULTRASONIC LIQUID FLOWMETER

Abstract. The paper discusses the features of the digital signal processing methods application in ultrasonic flowmeters using the example of signals correlation analysis. It is shown that, the problem of determining the flow rate is reduced to measuring the signals propagation time, which makes quite stringent requirements for the resolution and accuracy of time meters.

Index terms: ultrasonic, flowmeter, transit time, time of flight, ToF, accuracy, measurement error, probing, digital signal processing, DSP, correlation, interpolation.

Принцип действия ультразвуковых расходомеров (УЗР) [1], в частности время-импульсных [1], основан на измерении разности времен

распространения ультразвуковых сигналов (УЗС) в движущемся потоке (П) жидкости (Ж), или, другими словами, определении скорости П Ж

(пропорциональна объемному расходу – ОР) как функции временного сдвига (ВС) [1] между УЗС, которые распространяются поперек напорного трубопровода под углом к его оси против направления П и по П соответственно. Значение ВС вычисляется как разность времен прохождения УЗС через П поочередно [1].

В современных зарубежных приборах имеет место использование корреляционной обработки (КО) [2] как частного случая цифровой обработки получаемых сигналов (С) с выходов датчиков. ВС определяется в результате последующего вычисления взаимной корреляционной функции (ВКФ) этих С [2], которая характеризуют неявную взаимосвязь между ними.

Важным условием использования КО в УЗР является корректность и достоверность выявления глобального максимума (ГМ) ВКФ [2]. Поскольку ВКФ является периодической функцией и на практике может возникать нестабильность местоположения действительного ГМ ВКФ вследствие ее дисперсии, то существует некоторая вероятность возникновения ошибки при поиске ее ГМ, в частности – обнаружение локального максимума (ЛМ) ВКФ и принятие его в качестве ГМ. Как следствие, это влечет за собой проявление грубой погрешности измерения расхода. Соответственно, существует необходимость учитывать корреляционные свойства и форму самих УЗС, поскольку они влияют на вид ВКФ.

Дополнительное увеличение точности определения ВС, и соответственно, ОР Ж может быть реализовано применением интерполяции (И) ВКФ [2, 3]. Наиболее распространенные и простые методы И ВКФ: линейная (в области ближайшего пересечения нуля ВКФ после ГМ) [3] и так называемые «трехточечные» методы в области ГМ ВКФ (парабола, косинус, кривая Гаусса) [3].

На погрешность измерения ВС в УЗР существенное влияние оказывают шумы (Ш) и помехи. Эффективность применения КО в УЗР определяется частотой дискретизации (ЧД) и длительностью (Д) принимаемых С. Объем выборки (ОВ) (цифровой последовательности) получаемых С растет с увеличением Д С и ЧД, однако на указанные параметры в УЗР накладываются жест-

кие ограничения. Так, ЧД ограничена техническими и экономическими возможностями: с увеличением ЧД повышаются затраты на аппаратную реализацию, и, что самое главное – растет уровень внутренних помех. Кроме того, к УЗР предъявляются чрезвычайно высокие требования к отношению сигнал-шум принимаемых С, поэтому важным требованием к АЦП является не только быстродействие, но и его разрядность, определяющая дополнительные Ш квантования С. Для обеспечения эффективности КО в УЗР необходимо, чтобы Ш квантования не превосходили Ш в аналоговой части УЗР. Увеличение ОВ С для повышения точности вычисления целесообразно производить только в пределах действия полезного С, т.е. там, где мощность С наибольшая. Решить данную проблему (большой ОВ при низкой ЧД) можно путем усложнения алгоритма обработки принятых последовательностей С.

Библиографический список

1. **Кремлевский П. П.** Расходомеры и счетчики количества веществ: справочник. 4-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1989. 701 с.
2. **Pat. US 4787252 США**, МКИ G 01 F 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. **Lai X., Torp H.** Interpolation Methods for Time-Delay Estimation Using Cross-Correlation Method for Blood Velocity Measurement // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control. 1999. V. 46, № 2. P. 277 – 290.

References

1. **Kremlevskij P. P.** Rasxodomery` i schetchiki kolichestva veshhestv: sprav. 4-e izd., pererab. i dop. L.: Mashinostroenie, 1989. 701 s.
2. **Pat. US 4787252 USA**, MKI G 01 F 1/66. Differential correlation analyzer [Tekst] / S. A. Jacobson, L. C. Lynnworth, J. M. Korba; zayavitel' i patentoobladatel' Panametrics Inc.; zayavl. 30.09.1987; opubl. 29.11.1988. 22 s.
3. **Lai X., Torp H.** Interpolation Methods for Time-Delay Estimation Using Cross-Correlation Method for Blood Velocity Measurement // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control. 1999. V. 46, № 2. P. 277 – 290.

Е. С. Ефремова, Р. В. Солдаткин

(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ»,
Казань, Россия)

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ВИХРЕВОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТНО-СКОРОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДОЗВУКОВОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Аннотация. Рассмотрены особенности формирования, выделения и преобразования частотно-временных информативных сигналов и построения измерительных каналов вихревой системы измерения высотно-скоростных параметров дозвукового летательного аппарата.

Ключевые слова: дозвуковой летательный аппарат, высотно-скоростные параметры, измерение, вихревая система, информативные сигналы, выделение, преобразование, обработка.

E. S. Efremova, R. V. Soldatkin

(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan, Russia)

FUNDAMENTALS OF CONSTRUCTION OF VORTEX MEASUREMENT SYSTEMS ALTITUDE-SPEED PARAMETERS OF SUBSONIC AIRCRAFT

Abstract. Features of the formation, selection and conversion of time-frequency informative signals and the construction of measuring channels of the measuring vortex system of altitude-speed parameters of the subsonic aircraft are considered.

Index terms: subsonic aircraft, altitude-speed parameters, measurement, vortex system, informative signal, selection, transformation, processing.

Полеты большого класса летательных аппаратов, в том числе малоразмерных, беспилотных и дистанционно-пилотируемых осуществляются в приземном возмущенном слое атмосферы и для их пилотирования и обеспечения безопасности необходима информация о барометрической высоте и приборной скорости, истинной воздушной скорости и числе Маха, аэродинамических углах атаки и скольжения, других высотно-скоростных параметров, определяющих аэродинамику и динамику движения относительно окружающей воздушной среды [1].

Возможность достижения меньших потерь информации при восприятии, выделении, преобразовании, передаче и обработке частотно-временных информативных сигналов, формировании их с помощью одного интегрированного неподвижного приемника, получении выходных сигналов в цифровой форме определили предложение [2] по построению системы измерения высотно-скоростных параметров дозвукового летательного аппарата на базе неподвижного вихревого датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости.

В основу построения вихревого датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости положен эффект формирования и периодического срыва вихрей с поверхности установленных в набегающем воздушном потоке плохо обтекаемых геометрических тел и образования за ними так называемых вихревых дорожек Кармана с частотами срыва вихрей, пропорциональных истинной воздушной скорости набегающего воздушного потока и обратно пропорциональных характерному размеру тела [3].

При построении вихревого датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости в качестве плохо обтекаемых тел предложено использовать клиновидные пирамиды, основания которых расположены встречно набегающему воздушному потоку ортогонально друг к другу [3]. По измеренным частотам вихреобразования за клиновидными пирамидами по разработанным алгоритмам вычисляются аэродинамический угол и истинная воздушная скорость полета летательного аппарата.

Для расширения функциональных возможностей вихревого датчика и обеспечения изме-

рения всех высотно-скоростных параметров движения летательного аппарата предложено [4] на обтекаемой поверхности верхнего струевыпрямителя установить отверстие-приемник статического давления набегающего воздушного потока, подключенный к датчику абсолютного давления с частотным выходом. По информации об истинной воздушной скорости, измеренной вихревым датчиком, и воспринимаемому статическому давлению набегающего воздушного потока по разработанным алгоритмам вычисляются температура наружного воздуха и плотность окружающей среды, приборная скорость и число Маха, тем самым обеспечивая измерение всех высотно-скоростных параметров летательного аппарата.

Работа выполнена по гранту РФФИ № 18-38-00094.

Библиографический список

1. **Филатов Г. А., Пуминова Г. С., Сильвестров П. В.** Безопасность полетов в возмущенной атмосфере. М.: Транспорт, 1992. 272 с.
2. **Пат. РФ на изобретение № 2506596**, МПК G 01 P 5/20. Вихревой датчик аэродинамического угла и истинной воздушной скорости / В. М. Солдаткин, Е. С. Солдаткина; заявл. 16. 07. 2012; заявка № 2012130110/28; опубл. 24.04.2013, Бюл. № 12.

кин, Е. С. Солдаткина; заявл. 16. 07. 2012; заявка № 2012130110/28; опубл. 24.04.2013, Бюл. № 12.

3. **Солдаткин В. М.** Методы и средства измерения аэродинамических углов летательных аппаратов. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2001. 448 с.

4. **Пат. РФ на изобретение № 2556760**. Вихревой датчик аэродинамического угла и истинной воздушной скорости / В. М. Солдаткин, Е. С. Солдаткина; заявл. 21.04.2014; заявка № 2014116035/28; опубл. 20.07.2015, Бюл. № 20.

References

1. **Filatov G. A., Puminova G. S., Sil'vestrov P. V.** Bezopasnost' poletov v vozmushchennoj atmosfere. M.: Transport, 1992. 272 s.
2. **Pat. RF na izobretenie № 2506596**, MPK G 01 P 5/20. Vihrevoj datchik aehrodinamicheskogo ugla i istinnoj vozduшной скорости / V. M. Soldatkin, E. S. Soldatkina; zayavl. 16. 07. 2012; zayavka № 2012130110/28; opubl. 24.04.2013, Byul. № 12.
3. **Soldatkin V. M.** Metody i sredstva izmereniya aehrodinamicheskikh uglov letatel'nyh apparatov. Kazan: Izd-vo Kazan. gos. tekhn. un-ta, 2001. 448 s.
4. **Pat. RF na izobretenie № 2556760**. Vihrevoj datchik aehrodinamicheskogo ugla i istinnoj vozduшной скорости / V. M. Soldatkin, E. S. Soldatkina; zayavl. 21.04.2014; zayavka № 2014116035/28; opubl. 20.07.2015, Byul. № 20.

Е. А. Еlicheva, студентка, А. А. Лупачев, канд. тех. наук, доц.
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

АНАЛИЗ ИНТЕРВАЛЬНЫХ КРИТЕРИЕВ ОКОНЧАНИЯ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ

Аннотация. Исследуется критерий интервального вида окончания переходного процесса в измерительной цепи. В качестве модели служит динамическое звено третьего порядка.

Ключевые слова: измерительная цепь, звено третьего порядка, интервальные критерии.

Е. А. Elicheva, A. A. Lupachev

(National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

ANALYSIS OF INTERVAL CRITERIA END OF THE TRANSIENT PROCESS IN THE MEASURING CIRCUIT

Abstract. The criterion of the interval type of the transition process termination in the measuring circuit is investigated. The dynamic link of the third order serves as a model.

Index terms: measuring circuit, third order link, interval criteria.

Определение момента окончания переходного процесса (ПП) в измерительной цепи (ИЦ) является актуальной задачей [1]. Для этого существуют стандартизированные критерии интервального вида (КИВ), которые используются в различных технологиях, например при измерении температуры с заданной динамической погрешностью, рабочего тока при испытаниях силового трансформатора и т.д. Эти критерии определены для ИЦ в виде динамического звена первого порядка.

Известны исследования по звену первого порядка, которые показали наличие ограничения на применение КИВ в виде критического значения постоянной времени [2]. Анализ использования КИВ для ИЦ в виде двух последовательно соединенных апериодических звеньев проведен в работе [3]. Для завершения подобных исследований целесообразно провести анализ работоспособности КИВ для ИЦ третьего порядка, которая широко используется при моделировании измерительных каналов [1]. В рамках этого исследования для описания модели ИЦ используется модель с переходной характеристикой (ПХ), представленной в области апериодического режима ИЦ диаграммы Вышнеградского [3].

Анализ ведется моделированием с использованием электронных таблиц. Полученные значения ПХ анализируются алгоритмом, реализующим классический КИВ, в котором производится анализ относительного приращения сигнала ПП на заданном интервале наблюдения. На основе информации о разности момента окончания ПП в ИЦ с заданной динамической погрешностью и момента окончания интервала наблюдения принимается решение о достоверности результата применения КИВ. Анализ данной информации позволил определить характер изменения критической постоянной времени в указанной области.

Библиографический список

1. Щепетов А. Г. Основы проектирования приборов и систем: учебник и практикум для академического бакалавриата. М.: Изд-во «Юрайт», 2016.
2. Lupachev A., Sapelkin I., Smagin A. Interval criterion of the steady-state of the transient in the measuring circuit / Proceedings of 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016. May 19–20, 2016, Chelyabinsk, Russia. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911008.
3. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Изд-во «Наука», 1975.

References

1. Shhepetov A. G. Osnovy` proektirovaniya priborov i sistem: uchebnik i praktikum dlya akademicheskogo bakalavriata. M.: Izd-vo «Yurajt», 2016.
2. Lupachev A., Sapelkin I., Smagin A. Interval criterion of the steady-state of the transient in the measu-

ring circuit / Proceedings of 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016. May 19–20, 2016, Chelyabinsk, Russia. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911008.

3. Besekerskiy V. A., Popov E. P. Teoriya sistema avtomaticheskogo regulirovaniya. M.: Izd-vo «Nauka», 1975.

УДК 629.7.05.67:629.7.054.44

А. В. Никитин, В. В. Солдаткин, В. М. Солдаткин
(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ»,
Казань, Россия)

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ САМОЛЕТА С НЕПОДВИЖНЫМ НЕВЫСТУПАЮЩИМ ПРИЕМНИКОМ ПОТОКА

Аннотация. Рассмотрена актуальность создания системы воздушных сигналов самолета с интегрированным неподвижным невыступающим приемником набегающего потока. Раскрыты особенности построения и алгоритмов обработки информации измерительно-вычислительной системы на основе ионно-меточного датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости.

Ключевые слова: самолет, воздушные сигналы, измерение, система, неподвижный невыступающий приемник потока, особенности, алгоритмы.

A. V. Nikitin, V. V. Soldatkin, V. M. Soldatkin
(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan, Russia)

FEATURES OF CONSTRUCTION AND ALGORITHMS OF INFORMATION PROCESSING OF MEASURING-COMPUTING SYSTEM OF AIR SIGNALS OF AIRCRAFT WITH FIXED INCLUDED RECEIVER OF FLOW

Abstract. The currency of generation an air data system of aircraft with an integrated fixed included receiver of the incoming flow is considered. The features of construction and information processing algorithms of the measuring-computing system based on the ion-mark sensor of the aerodynamic angle and the true air speed are revealed.

Index terms: aircraft, air data signals, measurement, system, fixed included receiver of flow, features, algorithms.

Для пилотирования и обеспечения безопасности полета самолета широко используется информация о воздушных сигналах, определяющих аэродинамику и динамику движения относительно окружающей среды [1, 2].

Традиционные системы измерения истинной воздушной скорости и аэродинамических углов, приборной скорости и числа Маха, барометрической высоты и вертикальной скорости, других воздушных сигналов самолета для целей

измерения используют информацию о параметрах набегающего воздушного потока. Для ее восприятия на фюзеляже самолёта устанавливаются вынесенные в набегающий воздушный поток ряд приемников первичной информации, которые нарушают аэродинамику самолета, усложняют и снижают надежность системы [3, 4].

Возможность получения информации о воздушных сигналах с помощью одного интегрированного неподвижного невыступающего прием-

ника набегающего воздушного потока открывается при построении системы на основе ионно-меточного датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости, устанавливаемого заподлицо с фюзеляжем [5].

Для расширения функциональных возможностей ионно-меточного датчика и обеспечения измерения всех воздушных сигналов самолета на обтекаемой поверхности датчика предложено [6] установить отверстие фюзеляжного (плиточного) приемника статического давления, подключенного к входу датчика абсолютного давления преимущественно с цифровым или частотным выходным сигналом.

Используя информацию об истинной воздушной скорости, измеренную ионно-меточным датчиком, по разработанным алгоритмам в каналах измерительно-вычислительной системы определяются температура наружного воздуха и плотность окружающей среды, приборная скорость и число Маха [5], тем самым реализуя функции системы воздушных сигналов самолета без использования ряда выступающих приемников первичной информации. Все это определяет достоинства и конкурентные преимущества предложенной измерительно-вычислительной системы воздушных сигналов самолета.

Работа выполнена по гранту РФФИ № 18-08-00264.

Библиографический список

1. Котик М. Г., Филиппов В. В. Полет на предельных режимах. М.: Воениздат, 1977. 239 с.
2. Практическая аэродинамика маневренных самолетов / под общ. ред. Н. М. Лысенко. М.: Воениздат, 1977. 439 с.
3. Системы измерения воздушных параметров нового поколения / Н. В. Алексеев, Е. С. Вождаев,

В. Г. Кравцов и др. // Авиакосмическое приборостроение. 2003. № 8. С. 31 – 36.

4. Солдаткин В. М. Методы и средства измерения аэродинамических углов летательного аппарата. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2001. 448 с.

5. Ганеев Ф. А., Солдаткин В. М. Ионно-меточный датчик аэродинамического угла и воздушной скорости с логометрическими информативными сигналами и интерполяционной схемой обработки // Изв. вузов. Авиационная техника. 2010. № 3. С. 46 – 50.

6. Пат. 2580208 С1 РФ, МКИ G 01 P 5/00, G 01 C 1/12. Меточный датчик аэродинамического угла и воздушной скорости / В. М. Солдаткин, Ф. А. Ганеев, Е. С. Солдаткина, Н. Н. Макаров, В. П. Деревянкин, Д. Л. Крылов; заявл. 10.12.2014; № 2014150131/28; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10.

References

1. Kotik M. G., Filippov V. V. Polet na predel'nyh rezhimakh. M.: Voenizdat, 1977. 239 s.
2. Prakticheskaya aehrodinamika manevrennykh samoletov / pod obshch. red. N. M. Lysenko. M.: Voenizdat, 1977. 439 s.
3. Sistemy izmereniya vozdushnykh parametrov novogo pokoleniya / N. V. Alekseev, E. S. Vozhdaev, V. G. Kravcov i dr. // Aviakosmicheskoe priborostroenie. 2003. № 8. S. 31 – 36.
4. Soldatkin V. M. Metody i sredstva izmereniya aehrodinamicheskikh uglov letatel'nogo apparata. Kazan': Izd-vo Kazan. gos. tekhn. un-ta, 2001. 448 s.
5. Ganeev F. A., Soldatkin V. M. Ionno-metochnyj datchik aehrodinamicheskogo ugla i vozdushnoj skorosti s logometricheskimi informativnymi signalami i interpolacionnoj skhemoj obrabotki // Izv. vuzov. Aviacionnaya tekhnika. 2010. № 3. S. 46 – 50.
6. Pat. 2580208 S1 RF, MKI G 01 R 5/00, G 01 S 1/12. Metochnyj datchik aehrodinamicheskogo ugla i vozdushnoj skorosti / V. M. Soldatkin, F. A. Ganeev, E. S. Soldatkina, N. N. Makarov, V. P. Derevyankin, D. L. Krylov; zayavl. 10.12.2014; № 2014150131/28; opubl. 10.04.2016, Byul. № 10.

НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ПЕРСПЕКТИВНОМ ДАТЧИКЕ АБСОЛЮТНОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ САМОЛЕТОВ

Аннотация. Проанализированы новые технические решения в перспективном датчике абсолютного давления (МЭМС-КНИМТ) с микроэлектромеханическим КНИ-тензопреобразователем на основе изолированной монокристаллической кремниевой тензорамки и кремниевой мембраны. Датчик отличается от известных аналогов высокой термостойкостью, долговременной стабильностью и надежностью в жестких условиях эксплуатации авиационно-космической техники.

Ключевые слова: конструктивный и функциональный элементы КНИ-тензопреобразователя датчика абсолютного давления.

L. V. Sokolov

(Zhukovsky Branch of JSC «Ramenskoye Design Company», Zhukovsky, Russia)

NOVEL TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN ADVANCED ABSOLUTE PRESSURE SENSOR FOR AVIONIC SYSTEMS

Abstract. New technical solutions are analyzed in advanced absolute pressure sensor (MEMS-SOIMT) with microelectromechanical SOI tens converter based on insulated solid silicon tensoframe and silicon membrane. The sensor differs from certain analogues by high thermal resistance, long-term stability and reliability in severe operating conditions of aerospace engineering.

Index terms: constructional and functional SOI tens converter elements of absolute pressure sensor.

На объектах авиационной и ракетно-космической техники контроль давления составляет почти половину всех измерений. К датчикам давлений авиационных и ракетно-космических двигателей, подвергающихся воздействию ряда дестабилизирующих факторов, предъявляются высокие метрологические и эксплуатационные требования.

В большей степени таким требованиям соответствуют датчики абсолютного давления на основе КНИ микроэлектромеханической системы благодаря, прежде всего, физико-технологическим особенностям МЭМС-КНИМТ-тензопреобразователей на основе изолированной монокристаллической тензорамки и кремниевой мембраны, а также конструкции датчика с вакуумированным тензомодулем, с гальванической развязкой тензорамки и мембраны промежуточным тонким слоем неорганического диэлектрика, с гибким

коммутирующим шлейфом для электрических соединений контактных площадок тензопреобразователя с контактами внешней электронной схемы, с развязкой тензомодуля по механическим напряжениям от металлического корпуса датчика. При этом монокристаллическая рамка одновременно является как функциональным, так и конструктивным элементом МЭМС-КНИМТ и состоит из четырех тензорезисторов равной длины, образующих симметричный измерительный мост Уинстона.

В соответствии с новыми техническими решениями [1] в настоящее время разработана базовая конструкция и отработана технология изготовления датчиков абсолютного давления на основе унифицированного ряда МЭМС-КНИМТ микроэлектромеханических тензопреобразователей, перекрывающих широкий диапазон номинальных давлений.

Библиографический список

1. Пат. РФ на изобретение № 2609223. Тензорезисторный датчик абсолютного давления на основе КНИ микроэлектромеханической системы / Л. В. Соколов. Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения полезные модели». 2017, Бюл. № 4.

References

1. Russian Federation Patent of invention № 2609223. Strain gauge absolute pressure sensor based on SOI microelectromechanical system / L. V. Sokolov. Federal Service for Intellectual Property Official Journal «Inventions utility models». 2017, Bul. № 4.

УДК 629.7.05.67:629.7.054.44

В. М. Солдаткин, В. В. Солдаткин, А. В. Никитин
(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ»,
Казань, Россия)

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ САМОЛЕТА С НЕПОДВИЖНЫМ НЕВЫСТУПАЮЩИМ ПРИЕМНИКОМ НАБЕГАЮЩЕГО ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

Аннотация. Рассмотрены методологические основы построения системы воздушных сигналов самолета с неподвижным невыступающим приемником набегающего воздушного потока на базе ионно-меточного датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости.

Ключевые слова: самолет, воздушные сигналы, измерение, система, неподвижный невыступающий приемник, методология построения, конкурентные преимущества.

V. M. Soldatkin, V. V. Soldatkin, A. V. Nikitin
(Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI, Kazan, Russia)

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF CONSTRUCTION OF THE AIR DATA SYSTEM OF AIRCRAFT WITH FIXED INCLUDED RECEIVER OF THE INCOMING AIR FLOW

Abstract. The methodological bases of construction of the air data system of aircraft with fixed included receiver of incoming air flow on the basis ion-mark sensor of aerodynamic angle and true air speed are considered.

Index terms: aircraft, air data signals, measurement, system, stationary included receiver, methodology of construction, competitive advantage.

Полет самолета происходит в пределах атмосферы, и для обеспечения безопасности и эффективности решения полетных задач необходима достоверная информация о воздушных сигналах, определяющих аэродинамику и динамику движения относительно окружающей воздушной среды [1].

Традиционные системы воздушных сигналов самолета основаны на использовании, для целей измерения информации о параметрах набегающего воздушного потока, воспринимаемой вынесенными в набегающий поток и распределенными по фюзеляжу флюгерными дат-

чиками аэродинамических углов, приемниками воздушных давлений и температуры торможения. Но они нарушают аэродинамику самолета, особенно при маневрировании, снижают надежность работы системы в реальных условиях эксплуатации [2, 3].

Методологической основой построения системы воздушных сигналов самолета с невыступающим приемником воздушного потока является предложение [4] построить систему воздушных сигналов самолета с неподвижным невыступающим приемником на основе ионно-меточного датчика аэродинамического угла

и истинной воздушной скорости, установленно-го заподлицо с обшивкой фюзеляжа [3].

Другим методологическим подходом, обеспечивающим измерение других воздушных сигналов самолета, является предложение [4] расположить на обтекаемой поверхности ионно-меточного датчика отверстие фюзеляжного (плиточного) приемника статического давления [5].

Таким образом, реализация рассмотренных подходов с использованием ионно-меточного датчика позволяет определить высотно-скоростные параметры и другие параметры движения самолета относительно окружающей воздушной среды с помощью одного интегрированного неподвижного невытупающего приемника набегающего воздушного потока, что определяет конкурентные преимущества и перспективы применения рассматриваемой системы воздушных сигналов.

Работа выполнена по гранту РФФИ № 18-08-00264.

Библиографический список

1. **Практическая** аэродинамика маневренных самолетов / под общ. ред. Н. М. Лысенко. М.: Воениздат, 1977. 439 с.
2. **Кравцов В. Г., Алексеев Н. В.** Аэрометрия высотно-скоростных параметров летательных аппаратов // Приборы и системы управления. Управление, контроль, диагностика. 2008. № 8. С. 47 – 50.
3. **Солдаткин В. М.** Методы и средства измерения аэродинамических углов летательного аппарата. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2001. 448 с.
4. **Пат. 2580208 С1 РФ**, МКИ G 01 P 5/00, G 01 C 1/12. Меточный датчик аэродинамического угла и воздушной скорости / В. М. Солдаткин, Ф. А. Ганеев, Е. С. Солдаткина, Н. Н. Макаров, В. П. Деревянкин, Д. Л. Крылов; заявл. 10.12.2014; № 2014150131/28; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10.
5. **Клюев Г. И., Макаров Н. Н., Солдаткин В. М., Ефимов И. П.** Измерители аэродинамических параметров летательных аппаратов: учеб. пособие / под ред. В. А. Мишина. Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2005. 509 с.
6. **Ганеев Ф. А., Солдаткин В. М.** Ионно-меточный датчик аэродинамического угла и воздушной скорости с логометрическими информативными сигналами и интерполяционной схемой обработки // Изв. вузов. Авиационная техника. 2010. № 3. С. 46 – 50.

References

1. **Prakticheskaya** aerodinamika manevrennykh samoletov / pod obshch. red. N. M. Lysenko. M.: Voenizdat, 1977. 439 s.
2. **Kravtsov V. G., Alekseev N. V.** Aerometriya vysotno-skorostnykh parametrov letatel'nykh apparatov // Pribory i sistemy upravleniya. Upravlenie, kontrol', diagnostika. 2008. № 8. S. 47 – 50.
3. **Soldatkin V. M.** Metody i sredstva izmereniya aerodinamicheskikh uglov letatel'nogo apparata. Kazan': Izd-vo Kazan. gos. tekhn. un-ta, 2001. 448 s.
4. **Pat. 2580208 S1 RF**, MКИ G 01 R 5/00, G 01 S 1/12. Metochnyy datchik aerodinamicheskogo ugla i vozduшной скорости / V. M. Soldatkin, F. A. Ganeev, E. S. Soldatkina, N. N. Makarov, V. P. Derevyankin, D. L. Krylov; zayavl. 10.12.2014; № 2014150131/28; opubl. 10.04.2016, Byul. № 10.
5. **Klyuev G. I., Makarov N. N., Soldatkin V. M., Efimov I. P.** Izmeriteli aerodinamicheskikh parametrov letatel'nykh apparatov: uchebnoe posobie / pod red. V. A. Mishina. Ul'yanovsk: Izd-vo UlGTU, 2005. 509 s.
6. **Ganeev F. A., Soldatkin V. M.** Ionno-metochnyy datchik aerodinamicheskogo ugla i vozduшной скорости s logometricheskimi informativnymi signalami i interpol'atsionnoy skhemoy obrabotki // Izv. vuzov. Aviatcionnaya tekhnika. 2010. № 3. S. 46 – 50.

А. А. Шатохин, канд. техн. наук, Д. А. Чумаченко, студент
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОДНОФАЗНОЙ ЭЛЕКТРОСЕТИ

Аннотация. Рассмотрены алгоритмы измерения СКЗ, частоты, превышений, провалов и прерываний напряжения в однофазной электросети.

Ключевые слова: алгоритм, СКЗ, частота, превышение напряжения, прерывание напряжения, провал напряжения.

А. А. Shatokhin, D. A. Chumachenko
(National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

ALGORITHM FOR CALCULATING POWER QUALITY IN A SINGLE-PHASE POWER NETWORK

Abstract. In the report algorithms for measuring RMS, frequency, excess, dips and voltage interruptions in a single-phase power network are considered.

Index terms: algorithm, RMS, frequency, excess voltage, voltage dips, voltage interruptions.

Алгоритм разрабатывался для приборов, соответствующих классу А характеристик процесса измерения [1]. Поэтому измерение каждого показателя качества электроэнергии (ПКЭ) проводится на основном интервале времени длительностью 10 периодов основной компоненты напряжения для систем электроснабжения частотой 50 Гц. Результаты измерений на основных интервалах затем усредняются для получения ПКЭ для следующих увеличенных интервалов времени: 150 периодов основной компоненты, 10 мин и 2 ч. В общем случае 10-минутные интервалы не кратны интервалам 10 и 150 периодов из-за отклонения частоты электросети от номинального значения. Поэтому возникают перекрытия интервалов 10 и 150 периодов, относящиеся к смежным 10-минутным интервалам. Для корректной работы на границе двух 10-минутных интервалов в алгоритме проводится проверка их завершенности. Если измерения ПКЭ для предыдущего 10-минутного интервала не закончились, а метка времени нового интервала уже пришла, то поступающие отсчеты используются для определения ПКЭ для предыдущего 10-минутного интервала и для следующего. Расчет частоты проводится с использованием метода переходов через ноль. Одновременно с этим проводится

расчет СКЗ напряжения накоплением квадратов отсчетов и последующего вычисления квадратного корня из их среднего. Наличие перенапряжений, провалов и прерываний напряжения определяется на основании выхода значения СКЗ для каждой половины периода за установленные в ГОСТе [1] значения. Интервалы, на которых значения СКЗ вышли за установленные пределы, маркируются для возможности дальнейшей обработки. Также сохраняется длительность провала, превышения или прерывания напряжения.

Результирующие данные представляются в виде двух массивов, которые содержат ПКЭ для интервалов 150 периодов и 10 минут.

Библиографический список

1. ГОСТ 51317.4.30–2008. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. М., 2009. С. 54.

References

1. GOST 51317.4.30–2008. Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Metody izmereniy pokazateley kachestva elektricheskoy energii. M., 2009. S. 54.

Ю. Е. Боярская, студентка, e-mail: ulka_world@mail.ru,
С. С. Лемак, д-р физ.-мат. наук, проф., e-mail: lemaks2004@mail.ru
(Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия)

МАКСИМИННОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ПОЛЕТА ДЕЛЬТАПЛАНА В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ ВОЗМУЩЕНИЙ

Аннотация. Рассмотрен стационарный режим полета дельтаплана в вертикальной плоскости при наличии ветровых возмущений. Решена задача тестирования качества управления дельтапланом в предположении, что управление и возмущение принадлежат классу кусочно-непрерывных и ограниченных по модулю функций, начальные отклонения координат от программной траектории ограничены.

Ключевые слова: дельтаплан, управление, максиминное тестирование.

Yu. E. Boyarskaya, S. S. Lemak
(Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia)

MAXIMIN TESTING PERTURBED LONGITUDINAL FLIGHT MODES OF A HANG GLIDER

Abstract. The perturbed stationary longitudinal flight mode of a hang glider is considered. The problem of the maximin testing for a hang glider control is solved. Let the control and the perturbations belong to the class of a piecewise continuous functions, that are bounded. The initial deviations from the program path are limited.

Index terms: hang glider, control, maximin testing.

Для описания полета дельтаплана построена математическая модель движения в вертикальной плоскости, рассматривающая дельтаплан как твердое тело (это возможно, если ручка управления зафиксирована или управление квазистационарное). На систему действует ветровое возмущение, определяемое модулем и направлением своей скорости. В качестве управления рассматривается угол отклонения подвески пилота от ручки управления (изменение центра масс системы порождает момент тангажа).

Для решения данной задачи используется методика максиминного тестирования, состоящая из трех этапов. На первом, предварительном, этапе производится поиск максимина (нижнего значения функционала качества игровой задачи), проверка ситуации равновесия и вычисление оптимальной стратегии возмущений. На втором, основном, этапе моделируется процесс управления системой под действием проверяемого алгоритма управления (на компьютере или на имитационном стенде), при этом на управляемый объект действуют наихудшие возмущения, полученные на первом этапе. Вычисляется реальное значение функционала качества. На третьем, заключительном, этапе сравниваются наилучшее

и реальное значения функционалов, найденные на первых двух этапах, выставляется оценка.

Результаты тестирования могут быть использованы для тренировки пилотов на имитационном динамическом стенде. Подобное исследование более сложных режимов полета будет полезно для создания условий безопасной отработки пилотами маневров, опасных для жизни.

Работа проведена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-01-00683).

Библиографический список

1. Азарьев, И. А., Горшенин Д. С., Силков, В. И. Практическая аэродинамика дельтаплана. М.: Машиностроение, 1992. 273 с.
2. Оптимальное управление движением / В. В. Александров и др. М.: Физматлит, 2005. 376 с.
3. Черноусько Ф. Л. Оценивание фазового состояния динамических систем. М.: Наука, 1988. 320 с.

References

1. Azaryev I. A., Gorshenin D. S., Silkov V. I. Practical aerodynamics of a hang-glider. M.: Mashinostroenie, 1992. 273 p.
2. Optimal control of movement / V. V. Aleksandrov et al. M.: Fizmatlit, 2005. 376 p.
3. Chernousko F. L. Estimation of the phase state of dynamical systems. M.: Nauka, 1988. 320 p.

Д. И. Бугров, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., С. С. Лемак, д-р физ.-мат. наук, проф.,
А. Д. Прохорова, студентка, e-mail: prokhorova_ad@mail.ru
(Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия)

ТЕСТИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА РАЗРУШЕНИЯ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОГО УСТОЙЧИВОГО РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Аннотация. Рассмотрено нежелательное устойчивое движение «плоский штопор» летательного аппарата. Решена задача тестирования качества разрушения этого движения в предположении, что дополнительное управление принадлежит классу кусочно-непрерывных и ограниченных по модулю функций, начальные отклонения от программной траектории ограничены и рассматриваются в качестве возмущений.

Ключевые слова: летательный аппарат, плоский штопор, тестирование качества.

D. I. Bugrov, S. S. Lemak, A. D. Prokhorova
(Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia)

QUALITY TESTING OF UNSTABLE FLIGHT MODE DESTRUCTION

Abstract. The undesirable steady aircraft motion «flat spin» is considered. The problem of testing the quality of trajectory destruction is solved on the assumption that additional control belongs to the class of piecewise continuous functions bounded in absolute value, the initial deviations from the program path are limited and considered as perturbations.

Index terms: aircraft, flat spin, quality testing.

Для описания движения летательного аппарата (ЛА) используется математическая модель движения центра масс. В целях упрощения предполагается, что угол скольжения и угол скоростного крена равны нулю. Рассматриваются линеаризованные уравнения в окрестности программной траектории – плоского штопора [1], в качестве дополнительного управления взято изменение угла атаки. Отклонения от программной траектории в начальный момент времени рассматриваются в качестве возмущений, они полагаются ограниченными заданной величиной. Целью управления является разрушение программной траектории, а именно максимальное удаление от нее в заданный момент времени. Возмущения, наоборот, должны минимизировать это удаление.

Для решения данной задачи используется максиминное тестирование качества, эта процедура, как правило, состоит из трех этапов [2]. Стратегия тестирования формируется на первом этапе в результате решения игровой задачи. Непосредственно тестирование реализуется на втором этапе, когда реальный алгоритм управления тестируется при наихудших начальных возмущениях. На третьем этапе путем обработки результатов тестирования выставляется оценка в соответствии с заданным функционалом качества. Формирование на первом этапе наихудших

возмущений для тестирования происходит в рамках решения игровой задачи. Управление в конфликтной ситуации представляется как игра двух лиц с противоположными интересами. Такую динамическую игру можно свести к геометрической игре на множествах достижимости двух подсистем – по управлению и возмущению.

Полученные результаты предполагается использовать для развития методики максиминного тестирования качества управления динамическими объектами в экстремальных ситуациях и ее приложений.

Работа ведется при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-01-00683).

Библиографический список

1. **Методика** исследования штопора самолета с использованием пилотажного стенда / А. Ю. Воронин и др. // Труды МАИ (электронный журнал). 2012. Т. 58. URL: <http://trudymai.ru>
2. **Оптимальное** управление движением / В. В. Александров и др. М.: Физматлит, 2005. 376 с.

References

1. **Procedure** for studying the spin of a plane using a flight test stand / A. Y. Voronin et al. // Trudi MAI. 2012. V. 58. URL: <http://trudymai.ru>
2. **Optimal** control of movement / V. V. Aleksandrov et al. M.: Fizmatlit, 2005. 376 p.

УДК 681.2

С. А. Канаев, И. И. Антонов, e-mail: antonovivan111@gmail.com, О. В. Москаленко
(ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва, Россия)

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ БЛОК ДЛЯ ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Аннотация. Рассмотрены особенности аппаратной реализации универсального микропроцессорного электронного блока для весоизмерительного устройства.

Ключевые слова: универсальность, весы, измерение веса, автоматизация, оптимизация, сортировка.

S. A. Kanaev, I. I. Antonov, O. V. Moskalenko
(FSBEI HE «MIREA – Russian Technological University», Moscow, Russia)

MICROPROCESSOR ELECTRONIC UNIT FOR WEIGHT MEASURING DEVICE

Abstract. The report considers the features of the hardware implementation of the universal microprocessor electronic unit for a weight measuring device.

Index terms: versatility, weight scales, weight measuring, automation, optimization, sorting.

В настоящее время во многих процессах автоматического контроля и управления используются системы, в состав которых входят весоизмерительные устройства. Для таких устройств целесообразно использовать универсальный микропроцессорный электронный блок, имеющий возможность подключения различных типов тензорезистивных датчиков силы, которые используют полномостовую схему включения тензорезисторов [1] с номинальным сопротивлением в диапазоне от 120 до 1000 Ом. Это могут быть датчики балочного или колонного типа, S-образные, типа «Шайба» и др. Для подключения датчиков разного типа в состав универсального микропроцессорного электронного блока входят: реконфигурируемая схема питания тензорезистивного моста, которая может работать в режиме прецизионного источника тока или источника опорного напряжения, измерительный усилитель, нормирующий усилитель с программируемым коэффициентом усиления, активный фильтр нижних частот [2], пассивный радиочастотный фильтр, АЦП на базе сигма-дельта-модулятора. Калибровка и расчет коэффициентов нормирующей характеристики подключенного датчика осуществляется посредством гальванически развязанного интерфейса RS-485 с использо-

ванием управляющего программного обеспечения для ПК.

Помимо измерения веса, универсальный микропроцессорный электронный блок должен передавать информацию о взвешиваемом объекте на другие устройства системы. Обмен данными с другими устройствами системы можно выполнять посредством беспроводных модулей Bluetooth, Wi-Fi и ZigBee.

В докладе рассматриваются особенности аппаратной реализации универсального микропроцессорного электронного блока для весоизмерительного устройства.

Библиографический список

1. Мехеда В. А. Тензометрический метод измерения деформаций: учеб. пособие. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. 56 с.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники; пер. с англ. Изд. 2-е. М.: Изд-во «Бином», 2016. 704 с.

References

1. Mekheda V. A. Tenzometricheskii metod izmereniya deformatsiy: ucheb. posobiye. Samara: Izd-vo Samar. gos. aerokosm. un-ta, 2011. 56 s.
2. Horowitz P., Hill W. Iskustvo skhemotekhniki; per. s angl. Izd. 2-ye. M.: Izd-vo «Binom», 2016. 704 s.

Р. В. Жарков, М. В. Жарков, e-mail: mv_zharkov@mai.ru
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия)

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ИСПЫТАНИЙ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Приведены основные технические решения, использованные при разработке лаборатории испытаний навигационных систем на автомобиле. Представлены результаты применения лаборатории в ходе проездов по разным траекториям.

Ключевые слова: испытания навигационных систем, инерциальные навигационные системы, ГЛОНАСС.

R. V. Zharkov, M. V. Zharkov
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

NAVIGATION SYSTEM MOBILE TEST BENCH APPLICATION RESULTS

Abstract. The main technical solutions applied in the development of navigation system car test bench are given. Navigation system mobile test bench application results obtained on different trajectories are presented.

Index terms: navigation system test, inertial navigation system, GLONASS.

Важнейшим этапом жизненного цикла изделия являются испытания. При испытаниях навигационных систем, как правило, последовательно применяются методы: имитационного моделирования, полунатурных и натурных испытаний. Наиболее затратными являются натурные испытания, особенно в тех случаях, когда испытываемая система предназначена для использования в авиации. Предварить дорогостоящие испытания на летающей лаборатории при минимальных материально-технических затратах призваны испытания на автомобиле. С этой целью на кафедре 305 МАИ создана мобильная лаборатория испытаний навигационных систем [1].

В докладе приводится описание технических решений, применяемых для обеспечения основных функций лаборатории: испытания и калибровки образцов навигационной аппаратуры; испытания алгоритмов и программного обеспечения, применяемых в навигационных системах; мониторинг радионавигационной обстановки по пути проезда лаборатории. Значительное внимание уделено обоснованию возможности использования комплекса на основе

высокоточной инерциально-спутниковой навигационной системы на базе технологии NovAtel SPAN [1], базовой станции ГЛОНАСС/GPS, сервера точных эфемерид и программного обеспечения NovAtel Inertial Explorer [1] в качестве эталонной навигационной системы. Приводятся алгоритмы оценки показаний испытываемой системы по показаниям эталонной системы, алгоритмы вычисления эталонных значений дальностей и радиальных скоростей навигационных спутников для реализации возможностей испытаний программного обеспечения и алгоритмов спутниковой навигации и мониторинга радионавигационной обстановки. Отдельное внимание уделено методике калибровки навигационных систем.

Для оценки возможностей лаборатории представлены результаты ее применения в ходе проездов по разным траекториям. Анализ радионавигационной обстановки проводился на улицах города Москвы. В качестве испытываемых систем выступили серийно выпускаемые образцы навигационных систем.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ 16-08-01185-а.

Библиографический список

1. **Жарков Р. В.** Мобильная лаборатория испытаний навигационных систем // Гагаринские чтения – 2018: XLIV Международная молодежная научная конференция: сб. докл. М.: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2018.

References

1. **Zharkov R. V.** Mobile testing laboratory for navigation systems // Gagarin Readings – 2018: XLIV International Youth Scientific Conference: collected papers. M.: Moscow Aviation Institute (National Research University), 2018.

УДК 621.3.049.77

Д. В. Костыгов, e-mail: dkost92@mail.ru, **Н. В. Колесов**
(ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электрон», Санкт-Петербург, Россия)

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ БЛОКОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ДЛЯ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Аннотация. Работа посвящена разработке цифровых блоков интегральной схемы (ИС) для микро-механического акселерометра. Показан маршрут проектирования цифровых блоков, включающий этапы разработки системной и поведенческой моделей, генерации топологии интегральной схемы. Предложена методика оптимизации энергопотребления цифровых блоков ИС. Представлены результаты тестирования изготовленного микромеханического акселерометра и цифровых блоков, входящих в его состав.

Ключевые слова: интегральные схемы, микромеханические устройства, цифровые блоки интегральных схем.

D. V. Kostygov, N. V. Kolesov
(Concern CSRI Elektropribor, JSC, Saint-Petersburg, Russia)

DESIGN OF INTEGRATED CIRCUIT DIGITAL BLOCK FOR INERTIAL MICROMECHANICAL DEVICES

Abstract. The development of digital blocks of an integrated circuit (IC) for a micromechanical accelerometer is considered. The design flow of digital blocks is shown, including the stages of development of the system, behavioral model and generation of the topology of the integrated circuit. A technique for optimizing the energy consumption of digital ICs is proposed. The results of testing micromechanical accelerometer and digital blocks are presented.

Index term: integrated circuit, micromechanical devices, digital blocks of integrated circuits.

Микромеханические датчики (ММД) находят широкое применение во многих отраслях техники. Одним из ярких примеров их применения могут служить различные мобильные устройства, которые могут включать десятки таких датчиков [1, 2]. Основным преимуществом микромеханических датчиков являются: малые масса и габаритные размеры (площадь датчика единицы квадратных сантиметров), низкое энергопотребление. Недостатками являются невысокий уровень точности и значительный уровень шумов в аналоговой части интегральной схемы. Для компенсации недостатков используются сложные алгоритмы обработки информации.

К алгоритмам выдвигаются следующие требования: обработка информации должна вестись в режиме реального времени, включать алгоритмы компенсации помех и нелинейностей и обеспечивать фильтрацию сигналов. Кроме того, необходимо измерять температуру окружающей среды для алгоритма компенсации и обеспечивать алгоритм калибровки датчика. Следовательно, для обработки информации необходимо использовать интегральную схему (ИС), в состав которой входят цифровые блоки. Дополнительно эти блоки обеспечивают реконфигурацию аналоговых блоков ИС, задание режимов работы датчика и обеспечивают интерфейс с внешними устройствами.

В работе рассматривается маршрут проектирования цифровых блоков интегральных схем [3, 4], включающий этап по разработке и анализу гетерогенной математической модели датчика. Использование системной модели датчика на раннем этапе проектирования позволяет повысить эффективность проектирования ИС за счет предварительной оценки быстродействия и выработки уточненных технических параметров цифровых блоков.

При реализации алгоритмов управления датчиком и алгоритмов обработки информации в цифровых блоках интегральной схемы встает задача по оптимизации производительности и энергопотребления [5, 6]. В работе рассматривается методика параметрической оптимизации цифровых блоков интегральных схем, позволяющая проводить оптимизацию архитектуры и параметров различных типов вычислительных устройств.

Представлены результаты тестирования микромеханического акселерометра и цифровых блоков, входящих в его состав.

Библиографический список

1. **Пешехонов В. Г.** Современное состояние и перспективы развития гироскопических систем // Гироскопия и навигация. 2011. № 1. P. 3 – 16.
2. **Evaluating** the performance of MEMS based Inertial navigation sensors for land mobile application / Allison Kealy, Günther Retscher, Dorota Grejner-

Brzezińska et al. // Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing. 2011. V. 22. P. 237 – 248.

3. **Vachoux Alain.** Top-Down Digital Design Flow. Microelectronic Systems Lab, Switzerland, 2011.

4. **Kaeslin Hubert.** Digital Integrated Circuit Design. Cambridge University, 2008.

5. **Ranjan Preeti, Panda Aviral Shrivastava, Silpa B. V. N., Krishnaiah Gummidipudi.** Power-efficient System Design // Springer. 2006.

6. **Vijo M Joy, Krishnakumar S.** Efficient Load Scheduling Method for Power Management // International journal of scientific & technology research. January 2016. V. 5. Is. 01.

References

1. **Peshekhonov V. G.** Current state and prospects for the development of gyroscopic systems // Gyroscopy and navigation. 2011. № 1. P. 3 – 16.

2. **Evaluating** the performance of MEMS based Inertial navigation sensors for land mobile application / Allison Kealy, Günther Retscher, Dorota Grejner-Brzezińska et al. // Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing. 2011. V. 22. P. 237 – 248.

3. **Vachoux Alain.** Top-Down Digital Design Flow. Microelectronic Systems Lab, Switzerland, 2011.

4. **Kaeslin Hubert.** Digital Integrated Circuit Design. Cambridge University, 2008.

5. **Ranjan Preeti, Panda Aviral Shrivastava, Silpa B. V. N., Krishnaiah Gummidipudi.** Power-efficient System Design // Springer. 2006.

6. **Vijo M Joy, Krishnakumar S.** Efficient Load Scheduling Method for Power Management // International journal of scientific & technology research. January 2016. V. 5. Is. 01.

УДК 629.7.05

И. В. Саурский, e-mail: saurskiy_iv@mail.ru
(ФГУП «Московское опытно-конструкторское бюро «Марс», Москва, Россия)

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ НА РАЗРАБОТКУ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВСТРОЕННЫХ СИСТЕМ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧЕК-ЛИСТОВ

Аннотация. Рассмотрен способ оценки времени на разработку программного обеспечения, заключающийся в использовании чек-листа с различными весовыми характеристиками и последующем применении аддитивной функции к полученным ответам.

Ключевые слова: чек-лист, оценка времени, разработка, программное обеспечение, встроенные системы.

I. V. Saurskiy
(FSUE «Moscow Experimental Design Bureau «Mars», Moscow, Russia)

USING CHECKLIST FOR ESTIMATING TIME OF EMBEDDED SOFTWARE DEVELOPMENT

Abstract. The report considers a method for estimating the time for software development, consisting in the use of a check-list with different weight characteristics and the subsequent application of the additive function to the received answers.

Index terms: checklist, estimating time, development, software, embedded systems.

При оценке времени (трудоемкости) на разработку программного обеспечения (ПО) встроенных систем необходимо учитывать не только программную, но и аппаратную составляющую. Для примерной оценки можно использовать предварительные сведения, опирающиеся на накопленный опыт, оформленные в специально сформированный чек-лист [1]. В состав такого чек-листа входит перечень вопросов, каждому из которых сопоставляется определенное на базе накопленной статистики значение:

1. Состояние отладочных средств для загрузки ПО в целевое устройство:

- наличие готового отладчика, который можно сразу использовать;
- наличие задела от другой темы, который может быть легко адаптирован.

2. Состояние средств мониторинга каналов обмена:

- степень сложности подключения средств мониторинга к каналу обмена (потребуется ли полностью разбирать устройство, выводить контакты);

- наличие программных и аппаратных средств мониторинга данного канала обмена (наличие готовых средств, наличие задела, новая разработка).

3. Наличие свободных разработчиков, их опыт работы с устройством данной конфигурации, с отладочными средствами и средствами мониторинга.

4. Наличие программного обеспечения для данного устройства (имеются ли заделы, компиляторы, исходные данные и алгоритмы).

5. Требуемая функциональность устройства (требования к живучести устройства, сложность протоколов обмена).

6. Аппаратная сложность устройства (количество процессоров, каналов обмена, объемы ОЗУ и РПЗУ, функциональность системы прерываний).

7. Наличие требуемых источников питания, кабелей и других компонентов для подключения устройства на рабочем месте.

Оценка трудоемкости, а соответственно и времени, разработки формируется как адди-

тивная функция от статистически определенных значений чек-листа. Стоит отметить, что использование предложенного метода имеет весьма полезный побочный эффект. Получение отрицательных ответов на вопросы фактически формирует готовый план необходимых работ.

В докладе обсуждается опыт применения этого подхода при проектировании ПО СУ БПЛА.

Библиографический список

1. Гаванде Атул. Чек-лист: Как избежать глупых ошибок, ведущих к фатальным последствиям; пер. с англ. М.: Альпина паблишер, 2014. 204 с.

References

1. Gavande Atul. Check-list: How to avoid stupid mistakes, leading to fatal consequences; trans. with English. M.: Alpina publicer, 2014. 204 p.

УДК 621.391.172

О. А. Степанов, В. А. Васильев, А. Б. Торопов, А. С. Носов
(Университет ИТМО, АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург, Россия)

НИЖНЯЯ ГРАНИЦА ТОЧНОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ НЕИЗВЕСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ПОЛИНОМИАЛЬНОГО ТИПА

Аннотация. Рассмотрена задача нахождения нижней границы точности оценивания неизвестных параметров по измерениям, описываемым полиномом заданного порядка, и вычисляемой с использованием неравенства Рао–Крамера. Приведены аналитические соотношения в замкнутой форме для нижней границы точности, которые иллюстрируются на примере решения упрощенной одномерной задачи навигации с использованием карты геофизического поля при описании ее в виде полинома известного порядка.

Ключевые слова: нижняя граница точности по Рао–Крамеру, навигация с использованием карты, оценивание.

O. A. Stepanov, V. A. Vasiliev, A. B. Toropov, A. S. Nosov
(ITMO University, Concern CSRI Elektropribor, Saint-Petersburg, Russia)

CRAMER-RAO LOWER BOUND OF ESTIMATION OF UNKNOWN PARAMETERS OVER POLYNOMIAL OBSERVATIONS

Abstract. The problem of finding the lower bound for the accuracy of estimating unknown parameters over observations described by a polynomial of a given order is discussed and calculated using the Cramer–Rao inequality. Analytical relations are presented in closed form for the Cramer–Rao lower bound, which are illustrated by the example of solving a simplified one-dimensional navigation problem using a geophysical field map when describing it in the form of a polynomial of known order.

Index terms: Cramer–Rao lower bound, map-aided navigation, estimation.

При проектировании алгоритмов обработки навигационной информации широкое применение получили методы нелинейной байесовской фильтрации. Известно, что алгоритм нахождения оптимальной оценки, задаваемой в виде математического ожидания, соответствующего апостериорной плотности для вектора оцениваемых параметров, в замкнутой аналитической форме для общего случая получить невозможно, что порождает необходимость разработки субоптимальных алгоритмов оценивания [1 – 3]. При этом возни-

кает проблема оценки их эффективности, нередко решаемая путем сопоставления точности, достигаемой с помощью субоптимальных алгоритмов, с потенциальной точностью, количественно определяемой безусловной матрицей ковариаций, соответствующей оптимальному алгоритму. В целях упрощения анализа зачастую используется неравенство Рао–Крамера, с помощью которого вычисляется матрица ковариаций, характеризующая нижнюю границу (или предельно достижимую) точности оценивания [1, 4].

В этом случае отсутствует необходимость привлечения численных процедур, требующих значительного объема вычислений, для реализации оптимального алгоритма. В связи с этим при решении прикладных задач сохраняет свою актуальность разработка алгоритмов вычисления предельно достижимой точности оценивания (ПДТО).

Процедуры вычисления ПДТО разработаны для достаточно широкого класса задач, но при этом, как правило, приходится привлекать численные методы для вычисления интегралов, входящих в выражения для матрицы, определяющей ПДТО [4 – 7]. Однако в случае, когда модель измерений представляет собой функции полиномиального типа [2, 8], эти интегралы можно определить аналитически [9]. В настоящей работе такая возможность реализуется применительно к задаче оценивания неизвестного параметра по скалярным полиномиальным измерениям произвольного порядка. Полученные результаты иллюстрируются на примере упрощенной задачи навигации с использованием карты геофизического поля [10, 11], решаемой в предположении, что карта задана с помощью полинома известного порядка, а уточнению подлежит только одна координата. В работе с использованием соотношений для нижней границы точности оценивания координаты исследуется ее зависимость от порядка полинома, описывающего карту поля. Полученные результаты сопоставляются с потенциальной точностью и точностью, достигаемой с помощью полиномиального фильтра, при этом обсуждается соотношение между ними в зависимости от вида апостериорной плотности.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 18-19-00627).

Библиографический список

1. **Степанов О. А.** Применение теории нелинейной фильтрации в задачах обработки навигационной информации. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2003.
2. **Басин М. В.** Среднеквадратическая фильтрация для стохастических систем с полиномиальными

уравнениями состояния // Автоматика и телемеханика. 2016. № 2. С. 69 – 93.

3. **Afshari H. H., Gadsden S. A., Habibi S.** Gaussian Filters for Parameter and State Estimation: A General Review of Theory and Recent Trends // Signal Processing. 2017. V. 135. P. 218 – 238.

4. **Van Trees H. L., Bell K. L.** Bayesian bounds for parameter estimation and nonlinear filtering/tracking. San-Francisco: Wiley-IEEE Press, 2007.

5. **Кошаев Д. А., Степанов О. А.** Применение неравенства Рао-Крамера в задачах нелинейного оценивания. Теория и системы управления // Известия Академии наук. 1997. № 2. С. 65 – 72.

6. **Simandl M., Kralovec J., Tichavsky P.** Filtering, Predictive and Smoothing Cramer–Rao Bounds for Discrete–Time Nonlinear Dynamic Systems // Automatica. 2001. № 37. P. 1703 – 1716.

7. **Степанов О. А., Васильев В. А.** Предельно-достижимая точность оценивания по Рао–Крамеру в задачах нелинейной фильтрации при наличии порождающих шумов и ошибок измерения, зависящих от оцениваемых параметров // Автоматика и телемеханика. 2016. № 1. С. 103 – 133.

8. **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.

9. **Васильев В. А., Торопов А. Б.** Предельно-достижимая точность оценивания гауссовской случайной последовательности по измерениям полиномиального типа // Навигация и управление движением: материалы XX конф. молодых ученых. 2018 г.

10. **Степанов О. А., Торопов А. Б.** Методы нелинейной фильтрации в задаче навигации по геофизическим полям. Ч. 1. Обзор алгоритмов // Гирокопия и Навигация. 2015. Т. 23, № 3. С. 102 – 125.

11. **Современные** методы и средства измерения параметров гравитационного поля Земли / под общ. ред. В. Г. Пешехонова, О. А. Степанова. СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2017. 390 с.

References

1. **Stepanov O. A.** Application of the theory of nonlinear filtering in the problems of navigation information processing. SPb.: SSC RF TsNII «Elektro-pribor», 2003.
2. **Basin M. V.** Mean-square filtering for stochastic systems with polynomial equations of state // Automation and telemechanics. 2016. № 2. P. 69 – 93.

3. Afshari H. H., Gadsden S. A., Habibi S. Gaussian Filters for Parameter and State Estimation: A General Review of Theory and Recent Trends // Signal Processing. 2017. V. 135. P. 218 – 238.
4. Van Trees H. L., Bell K. L. Bayesian bounds for parameter estimation and nonlinear filtering/tracking. San-Francisco: Wiley-IEEE Press, 2007.
5. Koshayev D. A., Stepanov O. A. Application of the Rao-Cramer inequality in problems of nonlinear estimation. Theory and control systems // Proceedings of the Academy of Sciences. 1997. № 2. P. 65 – 72.
6. Simandl M., Kralovec J., Tichavsky P. Filtering, Predictive and Smoothing Cramer–Rao Bounds for Discrete–Time Nonlinear Dynamic Systems // Automatica. 2001. № 37. P. 1703 – 1716.
7. Stepanov O. A., Vasiliev V. A. The maximum achievable accuracy of Rao-Kramer estimation in nonlinear filtering problems in the presence of generating noise and measurement errors, depending on the parameters being evaluated // Automation and telemekhanics. 2016. № 1. P. 103 – 133.
8. 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.
9. Vasiliev V. A., Toropov A. B. The maximum attainable accuracy of estimating a Gaussian random sequence from measurements of a polynomial type // Navigation and Motion Control: materials of the XX Conference of Young Scientists. 2018.
10. Stepanov O. A., Toropov A. B. Methods of nonlinear filtration in the problem of navigation in geophysical fields. Part 1. Review of algorithms // Gyroscopy and Navigation. 2015. V. 23, № 3. P. 102 – 125.
11. Modern methods and tools for measuring the parameters of the Earth's gravitational field / ed. V. G. Peshekhonov, O. A. Stepanov. St. Petersburg: JSC Concern CSRI Elektropribor, 2017. 390 p.

УДК 004.421

М. Р. Смирнов, Р. Н. Исянов, Е. Н. Саул
(ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия)

ФИЛЬТРАЦИЯ ВХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ДАТЧИКА В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Аннотация. Синтезирован алгоритм обработки входного сигнала информационного измерительной системы, разработаны схемы алгоритма для решения общей и частной задач, а также рассмотрено повышение оперативности итерационного процесса восстановления входного сигнала линейной искажающей системы с использованием дискретного преобразования Фурье.

Ключевые слова: фильтрация, динамический датчик, измерительная система, преобразование Фурье.

M. R. Smirnov, R. N. Isyanov, E. N. Saul
(Penza State University, Penza, Russia)

FILTRATION OF THE INPUT INFORMATION OF THE DYNAMIC SENSOR IN THE INFORMATION-MEASURING SYSTEM

Abstract. The algorithm for processing the input signal of the information measuring system is synthesized, algorithms for solving general and particular problems are developed and the increase of the operability of the iterative process of restoring the input signal of a linear distorting system using the discrete Fourier transform is considered.

Index terms: filtering, dynamic sensor, measuring system, Fourier transform.

В настоящее время ни одна измерительная система не обходится без датчиков, которые транслируют в нее те или иные значения внешних воздействий.

В состав датчика могут входить функциональные узлы: чувствительный элемент, непосредственно воспринимающий измеряемую величину и преобразующий ее в электрический

сигнал; преобразователи, осуществляющие преобразование энергии (усиление, детектирование, фильтрация, АЦП-преобразование). Количество необходимых промежуточных этапов преобразований определяется интерфейсными возможностями и точностью датчика.

Для датчиков с линейной функцией преобразования $y = f(x)$ используют коэффициент преобразования $K = y_i / x_i$, где x_i и y_i – текущие значения x и y [1].

Важнейшей характеристикой датчика является чувствительность $S = dy / dx$.

Для датчиков с линейной функцией преобразования $S = K$. В общем случае чувствительность зависит от внешних факторов: напряжения питания, температуры, частоты измеряемого входного воздействия x .

Датчики с нелинейной функцией преобразования можно считать линейными внутри ограниченного диапазона значений x . На практике линейность датчика определяют по его градуировочной характеристике, которую снимают экспериментальным путем.

Быстродействие датчика определяется свойствами его структурных элементов и преобразо-

вателей и показывает, как выходной сигнал y следует во времени за изменением измеряемой величины x .

Точность – важная характеристика датчика, оценивается через отклонение результата измерения y от истинного y_n значения измеряемого параметра: $D_y = |y - y_n|$ [2].

На практике часто используют термин погрешность измерений датчика, понимая под этим величину максимального расхождения между показаниями реального и идеального датчиков.

Библиографический список

1. **Сергиенко А. Б.** Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2002.
2. **Оппенгейм А., Шафер Р.** Цифровая обработка сигналов. М.: Техносфера, 2006. 856 с.

References

1. **Sergienko A. B.** Digital signal processing. St. Petersburg: Peter, 2002.
2. **Oppenheim A., Shafer R.** Digital signal processing. M.: Technosphere, 2006. 856 p.

В. Д. Глушнев, С. И. Герасимов, М. М. Панов, e-mail: 6861094@mail.ru
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОГО ТРАКТА НА ТОЧНОСТЬ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ

Аннотация. Проведен анализ динамических характеристик электроакустического тракта и влияние параметров приемно-генерирующих цепей ультразвуковых расходомеров на разность времен задержки зондирующих сигналов и возникающую при этом погрешность измерения расхода.

Ключевые слова: ультразвук, расходомер, время-пролетный, электроакустический, тракт, точность, погрешность измерения, зондирующий, асимметрия, ПЭА, ПЭП, датчик.

V. D. Glushnev, S. I. Gerasimov, M. M. Panov
(National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

INFLUENCE OF THE ELECTROACOUSTIC PATH DYNAMIC CHARACTERISTICS ON THE ACCURACY OF ULTRASONIC FLOWMETERS

Abstract. An analysis is made of the electroacoustic path dynamic characteristics and the influence of the parameters of the ultrasonic flowmeters receiving and generating circuits on the difference in the probing signals delay times, and the resulting error in the flow measurement.

Index terms: ultrasonic; flowmeter, transit time, time of flight, ToF, electroacoustic, path, accuracy, measurement error, probing, asymmetry, PZT, sensor.

Принцип действия ультразвуковых расходомеров (УЗР) основан на измерении разности времен распространения (РВР) ультразвуковых сигналов (УЗС) в движущемся потоке жидкости. При неподвижной жидкости, в силу теоремы взаимности, времена распространения УЗС (в акустическом тракте УЗР) по потоку жидкости и против потока будут в точности одинаковы. В реальных УЗР измеряемая РВР отлична от нуля, она вызвана так называемой «асимметрией» (А) электроакустического тракта расходомера (ЭАТР). Наличие асимметрии ЭАТР приводит к смещению нуля УЗР, а его дрейф во времени – к погрешности измерения расхода. Причиной указанной А является нарушение идентичности условий генерации и приема ультразвуковых сигналов пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭА, ПЭП). Сами по себе ПЭА, общие для обоих направлений зондирующих сигналов (ЗС), электрические линии связи, выходные и входные цепи формирователя и приемника сигналов являются линейными динами-

ческими системами, поэтому для них также справедлив принцип взаимности. Однако данный принцип нарушается при коммутации направления ЗС, распространяющихся в общем ЭАТР: наличие ключей приводит к отличию сквозных передаточных функций (СПФ) ЭАТР и к разной задержке сигналов в приемно-излучающих цепях УЗР. Как было показано в работе [1], СПФ ЭАТР могут быть представлены в виде произведения ПФ ПЭА1 и ПЭА2, поочередно работающих в режиме приема (П) и излучения (И).

В силу конструктивных особенностей ПФ ПЭА1 и ПЭА2, являющиеся сложными колебательными системами, как правило, имеют существенные различия по частоте собственных колебаний, которые могут достигать 20 %. В этом случае для устранения А ЭАТР (обеспечения равенства СПФ) необходимо для каждого ПЭА обеспечить равенство ПФ на П и И. Для выяснения требований к конструкции ПЭА и параметров ключевых элементов УЗР были проведены расчеты частотных и импульсных характеристик

ПЭА с использованием известных моделей плоских полуволновых пьезоэлементов с согласующими полуволновыми мембранами [2]. Проведенные исследования показали, что для обеспечения требуемой точности УЗР асимметрия ЭАТР не должна превосходить 0,05...0,10 % периода свободных колебаний ПЭА.

При этом к П-И цепям УЗР и его ПЭА предъявляются требования:

1. Выходное активное сопротивление формирователя импульсов и входное сопротивление (С) приемника сигналов должны быть согласованы с волновым С кабелей, соединяющих ПЭА с электронным блоком, отличия этих С друг от друга (с учетом возможной нелинейности выходного С формирователя импульсов) для обоих направлений И не должны превосходить 3...5 %.

2. Существенное влияние на А оказывает форма электрических сигналов, подаваемых на ПЭА. При импульсном возбуждении отличия

длительностей возбуждающих импульсов (и длительностей их фронтов) при И по потоку и против потока не должны превосходить допустимой А ЭАТР.

Библиографический список

1. Глушнев В. Д. Разработка средств ультразвукового бесконтактного контроля расхода жидкости в трубопроводах большого диаметра: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Глушнев Владимир Дмитриевич. М., 1985.
2. Лепендин Л. Ф. Акустика: учеб. пособие для втузов. М.: Высш. шк., 1978. 448 с.

References

1. Glushnev V. D. Development of means for ultrasonic non-contact monitoring of fluid flow in large diameter pipelines: abstract of thesis. dis. ... cand. tech. / Glushnev Vladimir Dmitrievich. M., 1985.
2. Lependin L. F. Acoustics: Proc. allowance for technical colleges. M.: Higher education. school, 1978. 448 p.

УДК 681.32

Г. А. Калинина, e-mail: kalinina.ga@mail.ru, Ю. Е. Мороховец, e-mail: moropost@yandex.ru
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

ОБ ОРГАНИЗАЦИИ МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ДВУХКОЛЬЦЕВОГО РОТАЦИОННОГО КОММУНИКАТОРА

Аннотация. Рассмотрены принципы построения многопроцессорных вычислительных систем на основе двухкольцевого ротационного коммуникатора.

Ключевые слова: организация, вычислительная система, коммуникатор.

G. A. Kalinina, Yu. E. Morokhovets
(National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

ON THE ORGANIZATION OF MULTIPROCESSOR COMPUTER SYSTEMS BASED ON TWO-RING ROTARY COMMUNICATOR

Abstract. The report discusses the principles of building multiprocessor computer systems based on two-ring rotary communicator.

Index terms: organization, computer system, communicator.

Находящийся в фокусе доклада коммуникатор включает два кольцевых массива ячеек, содержимое которых циклически сдвигается

(ротруется) в противоположных направлениях. Доступ к содержимому ячеек обоих колец по чтению/записи – ассоциативный, предполагающий

сравнение ключевых разрядов в точках доступа, называемых портами коммутатора. Порты, подключенные к равноудаленным точкам колец, имеют в своем составе наборы аппаратно реализованных буферов, предназначенных для хранения последовательностей входных и выходных кадров. Порты имеют возможность просматривать содержимое одной или нескольких смежных ячеек колец (окон), через которые последовательно, цикл за циклом проходят кадры потоков передаваемых сообщений. Число ячеек между портами определяет размер кольцевого сектора и обусловлено асинхронностью передачи сообщений. Число портов коммутатора может варьироваться в широких пределах, достигая величин порядка $2^8 \dots 2^{10}$ шт. [1].

Процессоры, обеспечивающие непосредственную обработку данных в вычислительных системах, подключаются к портам коммутатора через специализированные адаптеры, в состав которых входят две быстрые двухпортовые памяти. Одна память служит для формирования и временного хранения входных сообщений, другая выполняет те же функции по отношению к выходным сообщениям. Поточковая запись данных через один из портов памяти может производиться одновременно с потоковым чтением через другой порт, при этом адресные коллизии по чтению/записи полностью исключены.

Современные технологии позволяют обеспечить достаточно малое время ротации кадров коммутатора, не превосходящее для некоторых физических реализаций 100 пс. В этом случае при равномерном распределении между портами информационных потоков, обусловленных набором решаемых задач, и ширине информационной части кадра в 64 бита «чистая» пропускная способность ротационного коммутатора может достигать 2 Тбит/с. При этом задержка передачи первого кадра сообщения (латентность) для 64-портового коммутатора с размером кольцевого сектора в 16 ячеек по нашим расчетам не должна превосходить 60 нс.

Библиографический список

1. Мороховец Ю. Е., Шполянский М. И. О модели выполнения асинхронно взаимодействующих последовательных процессов // Информационные средства и технологии: тр. XIX МНТК. М.: Издательский дом МЭИ, 2011. Т. 1. С. 291 – 296.

References

1. Morokhovets Yu. E., Shpolyansky M. I. On the model of execution of asynchronously interacting sequential processes // Information tools and technologies: proceedings of the XIX MNTC. M.: Publishing house MPEI, 2011. V. 1. P. 291 – 296.

УДК 681.581.2

А. А. Лупачев, e-mail: LupachevAA@yandex.ru, В. С. Ходырева
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕРВАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ЗНАЧЕНИЯ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ НА ПРИМЕРЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ЗВЕНА ВТОРОГО ПОРЯДКА

Аннотация. Исследовано применение интервального критерия установившегося значения при использовании в качестве модели измерительной цепи (ИЦ) звена второго порядка.

Ключевые слова: измерительная цепь, звено второго порядка, интервальные критерии окончания переходного процесса.

А. А. Lupachev, V. S. Khodyreva
(National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF THE INTERVAL CRITERION THE STEADY-STATE VALUE IN THE MEASURING CIRCUIT ON THE EXAMPLE OF THE SECOND-ORDER DYNAMIC ELEMENT

Abstract. The application of the interval criterion of the steady-state value is investigated when using the second-order link as a model of the measuring circuit (MC).

Index terms: measuring circuit, second order link, interval criteria for the end of the transition process.

Большое значение при динамических измерениях имеет определение момента наступления установившегося режима. Стандартизированный интервальный критерий (ИК) [1] нахождения этого момента используется в средствах измерения параметров обмоток силовых трансформаторов применительно к модели ИЦ в виде динамического звена первого порядка.

В ранее проведенном исследовании было установлено [2], что применение ИК для модели ИЦ апериодического звена второго порядка также существует ограничение в виде критической постоянной времени.

В работе [3] выделяются «два важных случая: когда постоянные времени экспонент достаточно близки и когда они отличаются в 5–10 раз и более». Исследуемая модель ИЦ представлена переходной характеристикой колебательного звена второго порядка с коэффициентом демпфирования ζ более 0,8. Численным моделированием найдена эмпирическая зависимость для критического значения постоянной времени от параметров модели ИЦ. Было установлено, что это значение при коэффициенте демпфирования $\zeta < 1,0$ существенно возрастает по полиномиальной зависимости в десятки раз по сравнению с критическим значением при $\zeta = 1,0$.

Библиографический список

1. ГОСТ 3484.1–88. Трансформаторы силовые. Методы электромагнитных испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1989. 41 с.
2. Сапелкин И., Ходырева В., Лупачев А., Макарычев П. Влияние модели измерительной цепи на применение интервального критерия установившегося значения // METROLOGY and METROLOGY ASSURANCE 2016: 26th National Scientific Symposium with international participation, September 7 – 11, 2016. Sozopol, Bulgaria. С. 122 – 126.
3. Бобылев Д. А. Определение параметров многоэлементных двухполюсников по мгновенным значениям отклика на импульсное тестовое воздействие // Датчики и системы. 2014. № 1. С. 18 – 23.

References

1. GOST 3484.1–88. Power transformers. Methods of electromagnetic testing. M.: Publishing House of Standards, 1989. 41 p.
2. Sapelkin I., Khodyreva V., Lupachev A., Makarychev P. Influence of the model of the measuring circuit on the application of the interval test of the steady-state value // METROLOGY and METROLOGY ASSURANCE 2016: 26th National Scientific Symposium with international participation, September 7 – 11, 2016. Sozopol, Bulgaria. P. 122 – 126.
3. Bobylev D. A. Determination of the parameters of multielement two-terminal networks based on instantaneous values of the response to impulse test action // Sensors and systems. 2014. № 1. P. 18 – 23.

А. Н. Серов, e-mail: serovan@mpei.ru, **А. А. Костина**, **И. В. Левашов**
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

ВЛИЯНИЕ ДЕВИАЦИИ ЧАСТОТЫ ЭЛЕКТРОСЕТИ НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ СКЗ

Аннотация. Исследовано влияние частоты электрической сети на погрешность измерения среднего квадратического значения (СКЗ). Для измерения СКЗ применен цифровой метод, основанный на усреднении квадратов отсчетов входного сигнала.

Ключевые слова: девиация частоты, погрешность измерения, СКЗ.

A. N. Serov, A. A. Kostina, I. V. Levashov
(National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

THE INFLUENCE OF THE POWER FREQUENCY DEVIATION ON THE RMS MEASUREMENT ERROR

Abstract. The influence of the frequency deviation of the electrical network on the error of the root mean square (RMS) is investigated. To measure the RMS, a digital technique based on the averaging of the squares of the input samples is applied.

Index terms: frequency deviation, measurement error, RMS.

В настоящее время существует большое число методов измерения среднего квадратического значения (СКЗ) сигнала [1, 2]. Наиболее простым в реализации является метод, основанный на усреднении квадратов отсчетов входного сигнала за время, кратное его периоду. Данный метод подходит для измерения СКЗ как синусоидальных, так и полигармонических входных сигналов. Погрешности измерения СКЗ с помощью данного метода можно условно разделить на основную инструментальную и дополнительную частотную составляющие. Первая составляющая обусловлена неидеальностью применяемой элементной базы. Среди источников инструментальной погрешности можно выделить отклонение коэффициента усиления входного масштабирующего устройства от номинального значения; неравномерность передаточной функции фильтра в полосе пропускания; погрешность линейности применяемого аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Учет последней составляющей погрешности представляет собой наибольшую важность, так как данная погрешность

не может быть устранена установкой нуля и калибровкой.

Анализ известных аналитических соотношений и результатов имитационного математического моделирования показывает, что при выборе времени измерения, кратного периоду входного сигнала, дополнительная частотная составляющая погрешности равна нулю. Однако современные электрические сети обладают нестабильностью частоты входного сигнала, что приводит к возникновению погрешности измерения СКЗ. В работе предлагается способ снижения данной погрешности, заключающийся в периодическом измерении частоты входного сигнала и подстройки времени измерения для обеспечения кратности его значения периоду входного сигнала.

В работе с помощью пакета Simulink построена имитационная модель рассматриваемого метода измерения СКЗ, позволяющая оценить инструментальные и дополнительные составляющие погрешности измерения.

Библиографический список

1. Fan Wang, Bollen M. H. J. Frequency-Response Characteristics and Error Estimation in RMS Measurement // IEEE Transactions on Power Delivery. 2004. V. 19, Is. 4. P. 1569 – 1578.
2. Михалин С. Н., Геворкян В. М. Проблемы цифровой обработки сигналов в системе автоматизированного контроля качества и учета количества электроэнергии (АСКУЭ) // Вестник МЭИ. 2005. № 1. С. 86 – 92.

References

1. Fan Wang, Bollen M. H. J. Frequency-Response Characteristics and Error Estimation in RMS Measurement // IEEE Transactions on Power Delivery. 2004. V. 19, Is. 4. P. 1569 – 1578.
2. Mikhailin S. N., Gevorgyan V. M. Problems of digital signal processing in the system of automated quality control and accounting of the amount of electricity (ASKUE) // Vestnik MPEI. 2005. № 1. P. 86 – 92.

УДК 681.2.08

К. А. Иваненко, e-mail: kirill-ivanenko@yandex.ru
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Аннотация. Приведены методы и типовые решения построения регистраторов показателей качества электроэнергии.

Ключевые слова: показатели качества электроэнергии.

К. А. Ivanenko
(National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

DESIGN OF DEVICES FOR MEASURING THE QUALITY OF ELECTRICITY

Abstract. Methods and standard solutions for constructing registers of electricity quality indicators are being developed.

Index terms: power quality indicators.

Напряжение является одной из наиболее часто измеряемых физических величин. Методы и средства измерения напряжения весьма многочисленны, что обусловлено широким диапазоном подлежащих измерению напряжений, разнообразием условий и объектов исследования.

Показатели качества электрической энергии (ПКЭ) являются характеристиками неидеальности фазных напряжений в сетях переменного тока.

Рассматриваемая функция востребована в современном мире, когда искажения сетевых напряжений могут существенно влиять на производственные процессы и качество работы домашнего оборудования.

Ухудшение качества электроэнергии принято связывать с отклонениями параметров электрического напряжения от номинальных значений.

В работе [1] описаны актуальные параметры качества электрической энергии, которые связаны с:

- отклонениями напряжений от номинального значения (220 В);
- отклонениями частоты переменного тока от номинального значения (50 Гц);
- искажениями синусоидальной формы кривой напряжения.

В настоящей работе рассматривались только два показателя: отклонение фазного напряжения в однофазной сети и отклонение частоты переменного тока от номинального значения.

Средства измерения ПКЭ предназначены для измерений токов и напряжений в сетях переменного тока частотой 50 Гц.

ПКЭ, как было сказано ранее, это показатели искажения номинальных характеристик фазных напряжения: амплитуды, частоты, фазы и формы кривой напряжения.

В данной работе был произведен обзор и анализ серийных регистраторов ПКЭ, а также разработан регистратор показателей качества однофазной электрической сети, полностью удовлетворяющий требуемым параметрам. Были составлены структурная и функциональная схемы разработанного устройства, сформулирован

алгоритм работы устройства, произведен метрологический расчет.

Библиографический список

1. ГОСТ 30804.4.30–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. Введ. 22.06.2013. М.: Стандартинформ, 2014. С. 3 – 6.

References

1. GOST 30804.4.30–2013. Electric Energy. Compatibility of technical means is electromagnetic. Methods for measuring the quality of electrical energy. Enter. 06/22/2013. M.: Standardinform, 2014. P. 3 – 6.

УДК 681.2.08, 550.312, 528.27, 531.76

С. А. Коломийчук, студент, e-mail: Svetlana_kolomiichuk@mail.ru,
А. А. Афонин, канд. техн. наук, доц., доц. каф. 305, А. С. Сулаков, канд. техн. наук, доц. каф. 309,
Г. Г. Ямашев, канд. техн. наук, мл. науч. сотр. НИО-305, e-mail: kaf305-mai@mail.ru
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия)

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ НАВИГАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС САМОЛЕТА ДАЛЬНЕЙ АВИАЦИИ ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ДОСТУПНОСТИ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Аннотация. Рассмотрен подход к совершенствованию навигационного комплекса самолета дальней авиации, который должен решать поставленные задачи в высоких широтах и при влиянии внешних помех, ограничивающих использование спутниковой навигации.

Ключевые слова: спутниковая навигационная система, бесплатформенная инерциальная навигационная система, оптимальное оценивание, комплексирование.

S. A. Kolomiychuk, A. A. Afonin, A. S. Sulakov, G. G. Yamashev
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

ADVANCED NAVIGATIONAL COMPLEX OF A LONG-RANGE AVIATION AIRCRAFT FOR OPERATION IN CONDITIONS OF LIMITED AVAILABILITY OF SATELLITE NAVIGATION MEASUREMENTS

Abstract. The approach to the improvement of the navigational complex of the long-range aviation aircraft, which should solve the tasks in high latitudes and with the influence of external interference limiting the use of satellite navigation.

Index terms: satellite navigation system, a strapdown inertial navigation system, optimal estimation, integration.

В настоящее время по-прежнему остро стоит проблема высокоточных навигационных измерений, в том числе для самолетов дальней

авиации (СДА). СДА оснащаются навигационными комплексами (НК), в состав которых входят бесплатформенные инерциальные навигационные

системы (БИНС), спутниковые навигационные системы (СНС), другие радионавигационные системы, астронавигационные системы (АНС) и др. При этом основными измерителями комплекса являются БИНС и СНС. Как правило, НК СДА способен с высокой требуемой степенью точности и надежности решать задачи ориентации и навигации, однако в первую очередь это относится к случаю нормальной работы СНС, определяющей его итоговую точность. В то же время сохраняются регионы Земли, например полярные области, где покрытие СНС по-прежнему недостаточно, то же касается и сигналов локальных радионавигационных систем. Кроме того, постановка разного рода помех или влияние специфических природных явлений может привести к ухудшению качества работы этих систем. Применение же АНС носит эпизодический характер, а оставшиеся автономные бортовые навигационные системы не способны длительное время обеспечивать достаточную точность.

При приближении к областям, где СНС испытывает сложности в работе, ее погрешности сначала постепенно, а затем резко возрастают, следовательно, актуальной представляется задача оценивания и коррекции погрешностей СНС, а в случае их неприемлемого роста – об исключении данных СНС из использования в НК. Таким образом, авторами предложен перспективный подход к совершенствованию НК СДА, особенность которого состоит в применении алгоритма оценивания и коррекции его ошибок, на базе модифицированной замкнуто-разомкнутой сильносвязанной схемы комплексирования БИНС и СНС с непосредственной оптимальной оценкой и коррекцией полных погрешностей СНС по дальности и скорости относительно каждого навигационного спутника из текущего рабочего созвездия. При этом отличительной чертой новой схемы является совместное использование метода наименьших квадратов и оптимального фильтра Калмана.

УДК 681.2.08, 550.312, 528.27, 531.76

Н. А. Шаповалов, студент, e-mail: Shapovalov.nik777@gmail.com, **А. А. Афонин**, канд. техн. наук, доц., доц. каф. 305, **А. С. Сулаков**, канд. техн. наук, доц. каф. 305, e-mail: kaf305-mai@mail.ru, **Нгуен Хонг Куан**, канд. техн. наук, аспирант (ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»), Москва, Россия)

НАВИГАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС САМОЛЕТА ДАЛЬНОЙ АВИАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ КОРРЕЛЯЦИОННО- ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ ПО ГРАВИТАЦИОННОМУ ПОЛЮ

Аннотация. Приведены результаты исследований свойств усовершенствованных алгоритмов навигационного комплекса самолета для подтверждения возможности оценивания аномалии силы тяжести с помощью штатных средств комплекса в условиях недоступности спутниковых навигационных измерений для ее использования в алгоритме корреляционно-экстремальной навигации по гравитационному полю.

Ключевые слова: корреляционно-экстремальная навигация, аномальное гравитационное поле, навигационный комплекс, оптимальное оценивание.

N. A. Shapovalov, A. A. Afonin, A. S. Sulakov, Nguen Hong Kuan
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

THE NAVIGATIONAL COMPLEX OF A LONG-RANGE AVIATION AIRCRAFT USING ELEMENTS OF CORRELATION-EXTREME NAVIGATION ALONG THE GRAVITATIONAL FIELD

Abstract. The results of studies of the properties of improved algorithms of the aircraft navigational complex for confirming the possibility of estimating the anomaly of gravity using the standard means of the complex in the conditions of inaccessibility of satellite navigation measurements for its use in the algorithm of correlation-extreme navigation along the gravitational field are presented.

Index terms: correlation-extreme navigation, anomalous gravitational field, navigation complex, optimal estimation.

Современный навигационный комплекс (НК) самолета дальней авиации (СДА) содержит ряд измерительных подсистем, наиболее значимыми из которых являются бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС) и спутниковая навигационная система (СНС). Степень точности решения навигационной задачи комплексом обычно определяется СНС, как наиболее точной из его подсистем. Однако стабильность и надежность работы СНС часто бывают ограничены, например в высоких широтах или в условиях различных негативных воздействий, в особенности активных радиопомех. При этом для решения навигационных задач, в случае недоступности или недопустимости использования СНС, широкое применение нашли корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЭНС), работающие по поверхностным или пространственным полям Земли.

Типичный состав измерительных подсистем НК СДА, способных сохранять надежную работоспособность в указанных обстоятельствах, вклю-

чает: БИНС, баро- и радиовысотометры, доплеровский измеритель скорости, угла сноса и дальности (ДИССД), а также эпизодически – астронавигационную систему. Точность НК такого состава зачастую оказывается недостаточной и возникает необходимость в его позиционной коррекции. В этом случае дополнительным источником корректирующих сигналов видится КЭНС, работающая по информации об аномалиях ускорения силы тяжести (УСТ). При этом бортовой гравиметрический канал ограниченной точности целесообразно строить на базе собственных измерителей НК: вертикального канала БИНС, высотометров и ДИССД.

Таким образом, в работе представлен новый подход к построению НК выбранного состава и структуры, приведены результаты имитационного моделирования, принципиально подтвердившее возможность оценки аномалий УСТ на базе штатных средств НК на уровне единиц мГал, что позволит ограничить итоговые погрешности комплекса в определении плановых координат допустимым для СДА уровнем в сотни метров.

Н. М. Парфенов

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

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ДАТЧИКОВ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Аннотация. Рассмотрены современные датчики физических величин. Дан сравнительный анализ кремниевых датчиков мембранного типа и волоконно-оптических датчиков (ВОД) давления. Показано, что использование ВОД существенно повышает область их применения как в военной технике, так и в гражданской промышленности.

Ключевые слова: датчик физических величин, кремниевый датчик мембранного типа, волоконно-оптический датчик.

N. M. Parfyonov

(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

ANALYSIS OF MODERN SENSORS OF PHYSICAL QUANTITIES

Abstract. Modern sensors of physical quantities are considered. A comparative analysis of silicon sensors of membrane type and fiber-optical pressure sensors (VOD) is given. It is shown that the use of VOD significantly increases the area of their application in military equipment and in the civilian industry.

Index terms: physical quantity sensor, silicon sensor of the membrane type, fiber optic sensor.

В настоящее время в области измерительных систем ведущее положение продолжают занимать кремниевые датчики мембранного типа, которые с помощью тензопреобразователя и моста Уитстона преобразуют деформацию мембраны в электрический сигнал с последующей передачей его в аналоговый или цифровой интерфейс.

Датчики давления находят применение в бортовых измерительных системах и другой высокотехнологичной технике. По сравнению с электромеханическими датчиками они имеют преимущества в возможности интеграции с микропроцессорной схемой и в изготовлении их групповым методом на основе технологий микромеханики и микроэлектроники [1, 2].

Однако в последнее время более широкое применение нашли волоконно-оптические датчики давления. Одной из причин повышенного интереса к данному научному направлению является возможность измерения параметров приборов на большие расстояния, в несколько километров. Если же использовать существующие датчики давления, то для измерения характеристик потребуется большое количество датчиков, что экономически весьма невыгодно.

Кроме высоких метрологических характеристик, измеряемых параметров физических ве-

личин – давление, температура, ускорение, вибрация, перемещение, токи, напряжение и напряженность электрического поля, ВОД обладают большой надежностью, долговечной стабильностью, высокой точностью измерений. В связи с появлением нового направления – волоконно-оптических датчиков, с помощью которых можно измерять практически любые физические величины, приходится переоснащать, например, авиационную технику современной аппаратурой. Известно, что около 50 % от общего числа проводимых измерений и контроля занимает контроль давления (в камерах сгорания реактивных двигателей). В этом случае на измеряемую аппаратуру существенно снижается влияние вибрации от двигателей, вследствие возможности применения ВОД и удаления их на определенное расстояние от источника вибрации [3].

В данной работе в лабораторных условиях было проведено измерение давления с применением датчиков с мембраной круглой формы при использовании амплитудного ВОД отражательного типа. Несмотря на полученные положительные результаты, однако требуется проведение еще дальнейших исследований, особенно в части использования компонентов излучения и приема прошедших через оптическое волокно сигналов.

Библиографический список

1. Тузов А. Датчики для измерения параметров движения на основе МЭМС – технологии. Ч. 1. Инерциальные датчики средней точности // Электроника. Наука. Технология. Бизнес. 2011. № 1. С. 72 – 78.
2. Козлов А. И. Моделирование тензопреобразователей давления на основе структуры КНИ. Одномерные преобразователи // Датчики и системы. 2008. № 1. С. 6 – 11.
3. Мещеряков В. А. Волоконно-оптические датчики давления отражательного типа для летательных аппаратов // Датчики и системы. 2001. № 9. С. 14 – 18.

References

1. Tuzov A. Sensors for measuring motion parameters on the basis of MEMS-technology. Part 1. Inertial sensors of medium accuracy // Electronics. Science. Technology. Business. 2011. № 1. P. 72 – 78.
2. Kozlov A. I. Modeling of pressure transducers based on the SOI structure. One-dimensional converters // Sensors and systems. 2008. № 1. P. 6 – 11.
3. Meshcheryakov V. A. Fiber-optical pressure sensors of reflective type for aircraft // Sensors and systems. 2001. № 9. P. 14 – 18.

УДК 536.2

С. В. Пономарев, Е. В. Буланов, В. О. Буланова, А. Г. Дивин, e-mail: kafedra@uks.tstu.ru
(ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ЛИНЕЙНОГО ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛОТЫ

Аннотация. Используя методы метрологии и теории теплопроводности, была разработана математическая модель измерения объемной теплоемкости и коэффициента температуропроводности теплоизоляционных материалов методом линейного импульсного источника теплоты.

Ключевые слова: коэффициент температуропроводности, объемная теплоемкость, измерение, тепловой импульс, обработка данных.

S. V. Ponomarev, E. V. Bulanov, V. O. Bulanova, A. G. Divin
(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

MODELING THE MEASUREMENT OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF HEAT-INSULATING MATERIALS BY THE METHOD OF A LINEAR IMPULSE HEAT SOURCE

Abstract. A mathematical model was developed for measuring the volume heat capacity and the coefficient of thermal diffusivity of heat-insulating materials by the method of a linear impulse heat source by using the methods of metrology and the theory of thermal conductivity.

Index terms: thermal diffusivity, volume heat capacity, measurement, thermal impulse, data processing.

В случае использования импульсного линейного источника теплоты решение краевой имеет вид [1 – 3]

$$[T(r, \tau) - T_0] = \begin{cases} -\frac{q_n}{4\pi\lambda} Ei(-U(\tau)) & \text{при } 0 < \tau < \tau_n; \\ -\frac{q_n}{4\pi\lambda} [Ei(-U(\tau)) - Ei(-U(\tau - \tau_n))] & \text{при } \tau > \tau_n. \end{cases} \quad (1)$$

Методика обработки экспериментальных данных, предлагаемая авторами, базируется на использовании безразмерного параметра

$\gamma = \frac{T(r, \tau) - T_0}{T_{\max} - T_0}$ который представляет собой отношение разности температур $[T(r, \tau) - T_0]$ (в момент времени τ) к мак-

симальному значению разности температур $[T(r, \tau) - T_0] = [T_{\max} - T_0]$, имеющему место в момент времени $\tau = \tau_{\max}$.

При математическом моделировании процесса измерения ТФС сначала с постоянным шагом $\Delta\tau$ во времени τ по формуле (1) вычисляли и регистрировали (в виде массивов) значения разностей температур $[T(r, \tau_i) - T_0]$ и моментов времени $\tau_i, i = 1, 2, \dots, n$, а затем по массиву полученных данных $[T(r, \tau_i) - T_0], \tau_i, i = 1, 2, \dots, n$ находили максимальное значение $[T_{\max} - T_0]$ этой разности. После этого методом интерполяции находили значение момента времени τ' , соответствующее величине разностей температур $[T(r, \tau) - T_0] = \gamma[T_{\max} - T_0]$.

Поделив зависимость (1) при $\tau > \tau_{\text{и}}$ на последнее выражение, получим

$$\gamma = \frac{T(r, \tau) - T_0}{T_{\max} - T_0} = \frac{Ei\left[-U(\tau)\frac{\tau}{\tau - \tau_{\text{и}}}\right] - Ei[-U(\tau)]}{Ei\left[-U(\tau_{\max})\frac{\tau_{\max}}{\tau_{\max} - \tau_{\text{и}}}\right] - Ei[-U(\tau_{\max})]}.$$

Если известны из эксперимента длительность $\tau_{\text{и}}$ теплового импульса, значения разности температур $[T(r, \tau_i) - T_0]$ и соответствующие им значения моментов времени $\tau_i, i = 1, 2, \dots, n$, то путем решения данного уравнения находим значение безразмерной величины $U(\tau') = \frac{r^2}{4a\tau'}$, соответствующее заданной величине параметра γ и известному моменту времени τ' . Далее, используя расчетное соотношение $a = \frac{r^2}{4\tau'U(\tau')}$ вычисляем коэффициент теплопроводности и, ис-

пользуя соотношение $c\rho = \frac{q_{\text{л}}\tau}{\pi r^2[T(r, \tau) - T_0]}U(\tau) \times$

$$\times \left\{ Ei\left[-U(\tau)\frac{\tau}{\tau - \tau_{\text{и}}}\right] - Ei[-U(\tau)] \right\}, \quad \text{вычислим}$$

объемную теплоемкость.

Таким образом, определяя оптимальные параметры эксперимента на этапе его планирования (основываясь на предлагаемой в работе [3] методике), можно существенно снизить затраты времени и финансовых средств на выполнение научно-исследовательских работ по оценке погрешностей измерения ТФС материалов.

Библиографический список

1. **Шашков А. Г., Волохов Г. М., Абраменко Т. М.** Методы определения теплопроводности и температуропроводности. М.: Энергия, 1973. 336 с.
2. **Теоретические** и практические основы теплофизических измерений: монография / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, А. Г. Дивин и др.; под ред. С. В. Пономарева. М.: Физматлит, 2008. 408 с.
3. **Ponomarev S. V., Bulanova V. O., Divin A. G., Bulanov E. V.** Optimization of Measurements of the Thermophysical Parameters of Heat-Insulating Materials by Means of a Linear Pulse Heat Source // Measurement Techniques. September 2017. V. 60. Is. 6. P. 583 – 588.

References

1. **Shashkov A. G., Volokhov G. M., Abramenko T. M.** Methods for determination of thermal conductivity and thermal diffusivity. M.: Energia, 1973. 336 p.
2. **Theoretical** and practical basis of thermophysical measurements: monograph / С. В. Ponomarev, С. В. Mishchenko, А. G. Divin et al.; ed. С. В. Ponomareva. M.: Fizmatlit, 2008. 408 pp.
3. **Ponomarev S. V., Bulanova V. O., Divin A. G., Bulanov E. V.** Optimization of Measurements of the Thermophysical Parameters of Heat-Insulating Materials by Means of a Linear Pulse Heat Source // Measurement Techniques. September 2017. V. 60. Is. 6. P. 583 – 588.

В. С. Кирьянова, e-mail: Kiryanova_valeria@mail.ru,

С. Г. Тихомиров, e-mail: Tikhomirov_57@mail.ru

(ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Воронеж, Россия)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА

Аннотация. Разработана имитационная модель процесса пиролиза, основанная на пополняемой базе кинетических данных ее корректировки в соответствии с критерием значимости конкретной реакции на выход компонентов пирогаза, при изменении качественного и количественного состава сырья или конструктивных параметров пиролизной печи.

Ключевые слова: пиролиз, радикально-цепной механизм, кинетическая схема, генетический алгоритм, этилен.

V. S. Kiryanova, S. G. Tikhomirov

(Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia)

MATHEMATICAL MODELING OF THE PYROLYSIS PROCESS

Abstract. Developed a simulation model of the pyrolysis process, based on updated database on kinetics data and adjusted in accordance with the criterion of the significance of the specific response to the output components of pyrolysis, changing the qualitative and quantitative composition of raw materials or structural parameters of the pyrolysis furnace.

Index terms: pyrolysis, radical-chain mechanism, the kinetic scheme, genetic algorithm, ethylene.

Синтез кинетической модели процесса

Сформирована пополняемая база данных кинетических параметров с использованием радикально-цепного механизма ее построения. Нелинейные дифференциальные уравнения материального баланса, записанные на ее основе, дополнены балансовыми уравнениями тепловой и механической энергии, учитывающими конструктивные особенности печи пиролиза:

где $k = 1..N_k$, $i = 1..N_r$, N_k – количество участвующих реагентов; N_r – количество реакций в кинетической схеме; $s_{i,k}$ – стехиометрический коэффициент k -го компонента i -й реакции; F_k – мольный расход компонентов пирогаза, моль/с; L – текущий участок змеевика; $r(T)_i$ – скорость i -й реакции (с^{-1} – для реакций первого порядка, $\text{м}^3/(\text{моль} \cdot \text{с})$ – для реакций второго порядка); $S_{\text{тр}}(L)$ – площадь змеевика

в текущей точке, м^2 ; χ – коэффициент неравномерности обогрева; $\alpha(F, T)$ – коэффициент теплоотдачи от стенки змеевика к потоку, $\text{Дж}/(\text{с} \cdot \text{К} \cdot \text{м}^2)$; $Cp(T)_k$ – теплоемкость k -го компонента реакционной смеси, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; $Cp(T)_{\text{H}_2\text{O}}$ – теплоемкость пара, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; $F_{\text{H}_2\text{O}}$ – моль-

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dF_k}{dL} &= \left[\sum_i (s_{i,k} r(T)_i) \right] S_{\text{тр}}(L); \\ \frac{dT}{dL} &= \frac{\chi \alpha(F, T) \pi d_{\text{тр}}(L) (T_z(L) - T(L) - \sum_{k=1}^{N_k} \left[\left(\frac{dF_k}{dL} \right) \Delta H_k(T) \right]}{F_{\text{H}_2\text{O}} Cp(T)_{\text{H}_2\text{O}} + \sum_{k=1}^{N_k} F_k Cp(T)_k}; \\ \frac{dP}{dL} &= \frac{RT(L)P(L)v_{\text{мас}}(L) \left[\frac{dV(F)}{dL} M_{\text{sum}}(F) + \left(\frac{1}{T(L)} \frac{dT}{dL} + \theta(T) \right) \right]}{RT(L)v_{\text{мас}}(L) - M_{\text{сим}}(F)P^2(L)}, \end{aligned} \right. \quad (1)$$

ный расход пара, моль/с; $T_z(L)$ – температура стенки змеевика в текущей точке, К; $\Delta H_k(T)$ – теплота образования k -го компонента реакции, Дж/кг; $\theta(T)$ – коэффициент гидравлического трения потока о стенки змеевика; $M_{\text{sum}}(F)$ – молекулярная масса пирогаза, кг/моль; $v_{\text{mas}}(L)$ – массовая скорость пирогаза в текущей точке змеевика, кг/(с·м²); $V(F)$ – объем пирогаза, м³/кг.

Параметрическая идентификация рассматриваемого математического описания проведена

с помощью модифицированного генетического алгоритма, способного оперировать большим числом переменных и устойчивого к многоэкстремальным задачам, отличающегося введением кодировки по Грей, турнирной селекции, кроссовера с частичным случайным выбором аллелей и принципа элитизма при формировании новой популяции.

Оценка результатов математического моделирования процесса пиролиза этан-этиленовой смеси показала, что средняя погрешность равна 3,71 % отн.

УДК 621.3049.77

В. И. Бусурин, e-mail: vbusurin@mail.ru, П. С. Кудрявцев, e-mail: mpso121@mail.ru,
Лю Чжэ, e-mail: Lzg599312@hotmail.com

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗА БЕСКОНТАКТНОГО СКАНИРУЮЩЕГО ПРОФИЛОМЕТРА

Аннотация. Исследована функциональная схема системы прогноза бесконтактного профилометра с преобразователями приближения на основе хроматической аберрации и оптического туннелирования.

Ключевые слова: оптический преобразователь приближения, система прогноза высоты, функция преобразования.

V. I. Busurin, P. S. Kudryavtsev, Liu Zhe
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

INVESTIGATION OF THE PROGNOSIS SYSTEM OF THE NON-CONTACT SCANNING PROFILOMETER

Abstract. The functional scheme of a prognostic system for a non-contact profilometer with approximation transducers based on chromatic aberration and optical tunneling.

Index terms: optical approximation transducer, altitude prediction system, transfer function.

В процессе работы сканирующего профилометра, если поверхность имеет большой перепад высот, необходимо исключить возможность механического контакта прецизионного преобразователя приближения (ОПП) с поверхностью тела. Для этого предложена система прогноза высоты, которая включает два канала. «Точный» канал основан на использовании ОПП с оптическим туннельным эффектом и обеспечивает прецизионное измерение высот в диапазоне сотен нанометров [1]. «Гру-

бый» канал использует преобразователь CHR-150 на основе хроматической аберрации, работающий в диапазоне сотен микрометров, который обеспечивает упреждающую оценку зазоров по направлению движения. Предложен алгоритм работы системы сканирования бесконтактного сканирующего профилометра. Произведено моделирование работы системы прогноза для различных значений высоты h в среде MATLAB. Получена максимальная скорость движения профилометра до 0,4 мм/с.

Библиографический список

1. Бусурин В. И., Кудрявцев П. С., Лю Чжэ. Исследование системы стабилизации сенсора бесконтактного сканирующего профилометра на основе метода оптического туннелирования // Мехатроника, автоматизация, управление. 2018. Т. 9. № 2. С. 85 – 88.

References

1. Busurin V. I., Kudryavtsev P. S., Liu Zhe. Investigation of the sensor stabilization system of a non-contact scanning profilometer based on the optical tunneling method // Mechatronics, automation, control. 2018. V. 19, № 2. P. 85 – 88.

УДК 681.5.08

С. А. Канаев, А. С. Конькова, e-mail: alexandrakonkova95@gmail.com,
М. Ю. Молозина, О. В. Москаленко, А. В. Торчинская
(ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва, Россия)

РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА ПУЛЬМОНОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ И ПОВЕРКИ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКИХ СПИРОМЕТРОВ

Аннотация. Рассмотрены основные этапы разработки, особенности программной и аппаратной реализации генератора пульмонологических сигналов.

Ключевые слова: телемедицина, портативные спирометры, поверка, калибровка.

S. A. Kanaev, A. S. Konkova, M. Yu. Molozina, O. V. Moskalenko, A. V. Torchinskaya
(FSBEI HE «MIREA – Russian Technological University», Moscow, Russia)

DEVELOPMENT OF A PULMONARY SIGNAL GENERATOR FOR CALIBRATION AND VERIFICATION OF TELEMEDICINE SPIROMETERS

Abstract. The paper considers the main stages of development, features of software and hardware implementation of the pulmonary signal generator.

Index terms: telemedicine, portable spirometers, verification, calibration.

В настоящее время в медицинскую практику активно внедряются телемедицинские технологии, которые имеют высокую эффективность при мониторинге состояния пациентов с хроническими формами заболеваний.

На кафедре КБ-6 реализуется комплекс проектов, направленных на разработку малогабаритных телемедицинских спирометров, а также полного комплекса оборудования, необходимого для их калибровки, поверки и проведения научно-исследовательских работ в области спирометрии [1].

Одной из наиболее ответственных задач является разработка автоматизированного генератора пульмонологических сигналов (ГПС). ГПС является специализированным аппаратно-программным комплексом, предназначенным для формирования пневмоимпульсов (ПИ), ими-

тирующих параметры внешнего дыхания человека. Кроме воспроизведения скоростных и объемных параметров дыхания, высококачественные ГПС способны формировать воздушные потоки с заданной температурой и влажностью, а также воспроизводить дыхательные маневры, соответствующие различным видам и формам заболеваний.

В состав прототипа разрабатываемого ГПС входят следующие основные компоненты: калибровочный шприц большого объема; прецизионный линейный актуатор с блоком управления шаговым электроприводом; электронный микропроцессорный блок управления (МБУ) с гальванически развязанным интерфейсом USB, графическим дисплеем и сенсорной панелью управления, схемой включения концевых выключате-

лей, датчиков линейных и угловых перемещений; блок термостатирования и клапанный блок.

Основное назначение ГПС – работа в составе стенда калибровки и термокомпенсации термоанемометрических и калориметрических спирометров и спироанализаторов [2]. Наличие встроенного МБУ позволяет работать в автономном режиме как задатчик ПИ при поверке и сравнительных исследованиях спирометрического оборудования, а также в составе лабораторного оборудования, предназначенного для обучения медицинского персонала.

В докладе представлены особенности аппаратно-программной реализации МБУ ГПС, блока управления шаговым электроприводом, алгоритмы работы и оптимизированный вариант циклограмм работы ГПС в составе стенда калибровки и термокомпенсации малоинерционных спирометрических датчиков воздушного потока.

Библиографический список

1. Стенд для калибровки и термокомпенсации портативных спирографов и спироанализаторов /

С. А. Канаев, А. С. Конькова, М. Ю. Молозина и др. // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сб. тр. 2017. С. 123–124.

2. Особенности аппаратно-программной реализации электронного блока для мобильного спирометрического комплекса / С. А. Канаев, А. С. Конькова, М. Ю. Молозина и др. // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сб. тр. 2017. С. 189–190.

References

1. Stand for calibration and thermocompensation of portable spirographs and spiro-analyzers / S. A. Kanaev, A. S. Konkova, M. Yu. Molozina et al. // Modern technologies in control, automation and information processing problems: collection of works. 2017. P. 123–124.

2. Features of the hardware-software implementation of the electronic unit for the mobile spirometric complex / S. A. Kanaev, A. S. Konkova, M. Yu. Molozina et al. // Modern technologies in control, automation and information processing problems: collection of works. 2017. P. 189–190.

УДК 004.056.52

В. В. Лакомова, e-mail: vvlakomova@yandex.ru, А. В. Яковлев
(ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия)

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАНДАТНОГО РАЗГРАНИЧЕНИЯ ДОСТУПА НА ОСНОВЕ RFID-ТЕХНОЛОГИИ

Аннотация. Представлено описание разработанного макета системы контроля и управления доступом с тремя уровнями безопасности.

Ключевые слова: СКУД, разграничение доступа, радиочастотная идентификация, кодовое разделение, хеш.

V. V. Lakomova, A. V. Yakovlev
(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

HARDWARE IMPLEMENTATION OF MANDATORY ACCESS CONTROL BASED ON RFID-TECHNOLOGY

Abstract. In this paper describes the developed layout of the physical access control system with three levels of security.

Index terms: PACS, RFID, identification, CDMA, hashing.

В настоящее время системы контроля доступа признаны одним из наиболее эффективных методов решения задачи обеспечения комплексной информационной безопасности для объектов [1].

В современных системах контроля и управления доступом отсутствует механизм аутентификации, разделяющий пользователей по уровню секретности [2]. В связи с этим возникает

необходимость разработки такой СКУД. Для ее разработки используется аппаратно-программная платформа Arduino.

Система основана на радиочастотной идентификации. Каждому пользователю системы выдается RFID-карта, на которую записывается персональный идентификатор пользователя. RFID-карта содержит одну антенну и три микросхемы, которые преобразуют идентификатор в код соответствующей разрядности, который затем хешируется. При считывании контроллер анализирует информацию и присваивает пользователю соответствующий уровень секретности.

Для реализации системы используется кодовое разделение каналов. Технология CDMA манипулирует всеми тремя параметрами информационного сигнала – частотой, временем и энергией. Канал CDMA является широкополосным (минимальная ширина полосы частот 1,23 МГц).

Частотный канал разбивается на несколько десятков логических, передача и прием по которым осуществляется в одной полосе частот и одновременно. При передаче сигналы от различных источников обрабатываются каждый своим «кодом» и объединяются в широкополосный сигнал с распределенной энергией, а на приемной стороне разделяются с помощью аналогичных «кодов».

Основная идея заключается в том, что в одной и той же полосе частот создаются сигналы, не влияющие друг на друга. В отличие от FDMA, где энергия сигнала концентрируется на выбранных частотах или временных интервалах, сигналы CDMA распределены в непрерывном частотно-временном пространстве. Одна и та же полоса частот используется всеми каналами одновременно [3, 4].

На основе CDMA можно синтезировать устройство доступа к информационной системе с использованием трехуровневой шкалы меток безопасности и основанное на кодовых комбинациях.

Функции Уолша и основанное на этих функциях преобразование обладает рядом свойств, благодаря которым их применение в системах обработки сигналов часто оказывается более предпочтительным по сравнению с другими. Эти функции получили широкое распространение при обработке различных сигналов и во многих областях человеческих знаний.

Библиографический список

1. **Романец Ю. В.** Защита информации в компьютерных системах и сетях. М.: Радио и связь, 1999. 328 с.
2. **Гинце А. А., Цветаев А. А.** Новые технологии в СКУД. М.: Инфо, 2013. 398 с.
3. **Пышкин И. М.** Теория кодового разделения каналов. М.: Связь, 1980. 208 с.
4. **Ипатов В. П.** Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. М.: Техносфера, 2007. 488 с.

References

1. **Romanets Yu. V.** Information security in computer systems and networks. M.: Radio and communication, 1999. 328 p.
2. **Gintse A. A.** New technologies in PACS. M.: Info, 2013. 398 p.
3. **Pyshkin I. M.** Theory of CDMA. M.: Communication, 1980. 208 p.
4. **Ipatov V. P.** Spread Spectrum and CDMA. Principles and Applications. M.: The technosphere, 2007. 488 p.

УДК 582.87

Г. Н. Лебедев, В. И. Гончаренко, А. В. Румакина, e-mail: a_rumakina@mail.ru
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,
Москва, Россия)

ЗАДАЧА ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МАРШРУТНЫМ ПОЛЕТОМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Аннотация. В существующих алгоритмах построения оптимального маршрута облета объектов недостаточное внимание уделено динамическим возможностям летательного аппарата. В данной работе предметом исследования является программа логического управления, определяющая состав и очередность простых полетных операций.

Ключевые слова: летательный аппарат, маршрутный полет, управление, логические анализаторы.

G. N. Lebedev, V. I. Goncharenko, A. V. Roumakina
(Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia)

THE PROBLEM OF LOGICAL CONTROL OVER THE ROUTE FLIGHT OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

Abstract. In the existing algorithms for constructing the optimal flight path for objects, insufficient attention has been paid to the dynamic capabilities of the aircraft. In this paper, the research subject is the logical control program, which determines the composition and sequence of simple flight operations.

Index terms: flying vehicle, fixed-route flight, controlling, logical analyzers.

Учет ограниченных динамических возможностей БЛА приводит к сильным изменениям плана облета объектов, когда на каждом шаге планирования выполнение условия достижимости очередного пункта с нужным путевым углом возможно лишь при последовательном осуществлении простых полетных операций – сначала только разворот по курсу, затем изменение высоты, далее боковое движение для выхода на заданную линию пути и в завершении – достижение заданной требуемой скорости. Нужный состав этих операций и очередность их выполнения БЛА должны назначаться автоматически в реальном масштабе времени бортовыми программными средствами.

В общей программе логического управления имеется несколько блоков: блок назначения уставок по высоте, блок управления боковым движением, блок пересчета координат летательного аппарата в новую систему, блок управления

скоростью и блок вывода служебного текста. Была составлена блок-схема алгоритма программы автоматического назначения уставок в регуляторы БЛА, реализующая на его борту многорежимный полет в реальном масштабе времени. Моделирование на ЭВМ подтвердило работоспособность предложенного подхода для управления маршрутным полетом БЛА [1].

Библиографический список

1. Лебедев Г. Н., Ефремов А. В. Применение динамического программирования в задачах маршрутизации полета беспилотного летательного аппарата. Самара: Научный вестник СГАУ, 2011. № 3.

References

1. Lebedev G. N., Efremov A. V. Application of dynamic programming in routing problems UAV flight. Samara: Scientific Bulletin of Samara State Aerospace University, 2011. № 3.

УДК 629.05

А. В. Моторин, e-mail: motorin.a@mail.ru, О. А. Степанов, Р. У. Титов
(Университет ИТМО, АО «Концерн «ЦНИИ «Электрон», Санкт-Петербург, Россия)

ЗАДАЧА СОВМЕСТНОЙ НАВИГАЦИИ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Аннотация. С общих позиций байесовского подхода проведен обзор существующих методов решения задачи одновременной навигации и картографирования. На его основе сформулирована обобщенная постановка задачи навигации по геофизическим полям и одновременного уточнения их карт.

Ключевые слова: навигация по геофизическим полям, одновременная навигация и картографирование, байесовская фильтрация.

A. V. Motorin, O. A. Stepanov, R. U. Titov
(ITMO University, Concern CSRI Elektropribor, Saint-Petersburg, Russia)

SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING USING GEOPHYSICAL FIELDS

Abstract. The paper provides a review of existing methods for solving the problem of simultaneous localization and mapping (SLAM) from the general standpoint of the Bayesian approach. On this basis, a general formulation for the problem of navigation in geophysical fields and the simultaneous refinement of their maps is formulated.

Index terms: map-aided navigation, SLAM, Bayesian filtering.

Традиционно решение совместной задачи навигации и картографирования востребовано при навигации автономных роботов в условиях закрытых помещений, когда сигналы спутниковых систем недоступны [1 – 5]. Вместе с тем возрастает актуальность решения задачи навигации автономных подводных объектов, для которых сигналы спутниковых систем также недоступны. Средствами коррекции в таком случае могут выступать карта рельефа дна или карта береговой линии, в совокупности с измерителем расстояния, а также карта аномалий силы тяжести, в совокупности с гравиметром. Решение задачи навигации с использованием таких средств, как правило, опирается на байесовские алгоритмы оценивания, широко описанные в литературе [6 – 10]. В условиях неполного покрытия карт или их недостаточной точности является актуальной задача одновременной навигации таких аппаратов и уточнения соответствующих карт. Эта задача, по существу, является задачей одновременной навигации и картографирования, которая успешно решается в условиях помещений для наземных роботов и извест-

ной под аббревиатурой SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) [1 – 5]. Решение обеих задач может быть получено с позиций байесовского подхода [1, 11]. В то же время использование карт геофизических полей имеет свои особенности. В отличие от навигации внутри помещений, карта поля известна и требует уточнения, а не построения «с нуля». Помимо этого, сама карта представляет собой не множество непроеходимых препятствий, а множество значений параметра поля, которые могут быть интерполированы на любую точку карты. Иной характер носят и измерения, которых, как правило, значительно меньше.

Исходя из этих особенностей, в работе с общих позиций байесовского подхода проводится обзор существующих методов решения задачи одновременной навигации и картографирования. На его основе формулируется и рассматривается обобщенная постановка задачи навигации по геофизическим полям и одновременного уточнения их карт.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 18-19-00627).

Библиографический список

1. **A Solution** to the Simultaneous Localization and Map Building (SLAM) Problem / G. Dissanayake, P. Newman, S. Clark et al. // IEEE Transactions on Robotics and Automation. June 2001. V. 17, № 3. P. 229 – 241.
2. **Durrant-Whyte H. F., Bailey T.** Simultaneous localisation and mapping (SLAM). Part I: IEEE Robot. Autom. Mag. 2006. V. 13, № 2. P. 99 – 110.
3. **Bailey T., Durrant-Whyte H. F.** Simultaneous localisation and mapping (SLAM). Part II: Robot. Auton. Syst. 2006. V. 13, № 3. P. 108 – 117.
4. **Dissanayake G., Huang S., Wang Z., Rana-singhe R.** A review of recent developments in simultaneous localization and mapping / in Proc. Int. Conf. Ind. Inform. Syst. 2011. P. 477 – 482.
5. **Past**, Present, and Future of Simultaneous Localization and Mapping: Toward the Robust-Perception Age / C. Cadena, L. Carlone, H. Carrillo et al. // IEEE Transactions on Robotics. 2016. V. 32, Is. 6. P. 1309 – 1332.
6. **Степанов О. А.** Применение теории нелинейной фильтрации в задачах обработки навигационной информации. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2003.
7. **Белоглазов И. Н., Джанджава Г. И., Чигин Г. П.** Основы навигации по геофизическим полям. М.: Наука, 1985. 327 с.
8. **Bergman N.** Recursive Bayesian estimation: Navigation and tracking applications Sweden / Linköping University, 1999. 219 p.
9. **Степанов О. А., Торопов А. Б.** Методы нелинейной фильтрации в задаче навигации по геофизическим полям. Ч. 1. Обзор алгоритмов // Гироскопия и навигация. 2015.
10. **Performance** Evaluation and Analysis for Gravity Matching Aided Navigation / H. Wu, H. Wang, L. Chai et al. // Sensors (Basel, Switzerland). 2017. V. 17, Is. 4.
11. **Wu M., Weng Y.** UKF-SLAM Based Gravity Gradient Aided Navigation. In: Zhang X., Liu H., Chen Z., Wang N. (eds) Intelligent Robotics and Applications. ICIRA 2014. Lecture Notes in Computer Science. V. 8917. Springer, Cham (2014). P. 77 – 88.

References

1. **A Solution** to the Simultaneous Localization and Map Building (SLAM) Problem / G. Dissanayake, P. Newman, S. Clark et al. // IEEE Transactions on Robotics and Automation. June 2001. V. 17, № 3. P. 229 – 241.
2. **Durrant-Whyte H. F., Bailey T.** Simultaneous localisation and mapping (SLAM). Part I: IEEE Robot. Autom. Mag. 2006. V. 13, № 2. P. 99 – 110.
3. **Bailey T., Durrant-Whyte H. F.** Simultaneous localisation and mapping (SLAM). Part II: Robot. Auton. Syst. 2006. V. 13, № 3. P. 108 – 117.
4. **Dissanayake G., Huang S., Wang Z., Rana-singhe R.** A review of recent developments in simultaneous localization and mapping / in Proc. Int. Conf. Ind. Inform. Syst. 2011. P. 477 – 482.
5. **Past**, Present, and Future of Simultaneous Localization and Mapping: Toward the Robust-Perception Age / C. Cadena, L. Carlone, H. Carrillo et al. // IEEE Transactions on Robotics. 2016. V. 32, Is. 6. P. 1309 – 1332.
6. **Stepanov O. A.** Application of the theory of nonlinear filtration in problems of processing navigation information. SPb.: SSC RF TsNII «Elektropribor», 2003.
7. **Beloglazov I. N., Janjgava G. I., Chigin G. P.** Basics of navigation in geophysical fields. M.: Science, 1985. 327 p.
8. **Bergman N.** Recursive Bayesian estimation: Navigation and tracking applications Sweden / Linköping University, 1999. 219 p.
9. **Stepanov O. A., Toropov A. B.** Nonlinear filtering for map-aided navigation. Part 1. An overview of algorithms // Gyroscopy and Navigation. 2015.
10. **Performance** Evaluation and Analysis for Gravity Matching Aided Navigation / H. Wu, H. Wang, L. Chai et al. // Sensors (Basel, Switzerland). 2017. V. 17, Is. 4.
11. **Wu M., Weng Y.** UKF-SLAM Based Gravity Gradient Aided Navigation. In: Zhang X., Liu H., Chen Z., Wang N. (eds) Intelligent Robotics and Applications. ICIRA 2014. Lecture Notes in Computer Science. V. 8917. Springer, Cham (2014). P. 77 – 88.

А. С. Носов, e-mail: aleksey.sinos@gmail.com, О. А. Степанов, А. О. Носова
(Университет ИТМО, АО «Концерн «ЦНИИ «Электрон», Санкт-Петербург, Россия)

МЕТОДИКА ВЫБОРА ИНФОРМАТИВНЫХ УЧАСТКОВ МАРШРУТА В ЗАДАЧЕ НАВИГАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАРТЫ

Аннотация. Обсуждена проблема выбора информативных участков маршрута в задаче уточнения координат подвижного объекта с использованием карты и датчика геофизического поля. Предложена методика выбора кусочно-линейных участков, учитывающая специфику решения задачи навигации при использовании скалярного измерителя геофизического поля.

Ключевые слова: информативный маршрут, навигационная информативность, корреляционно-экстремальная навигация, навигация по геофизическим полям.

A. S. Nosov, O. A. Stepanov, A. O. Nosova
(ITMO University, Concern CSRI Elektropribor, Saint-Petersburg, Russia)

PATH PLANNING IN MAP-MATCHING NAVIGATION

Abstract. This paper deals with a path planning in map-aided navigation. The variability of a map plays the key role in the performance of map-aiding, thus the choice of an «appropriate» area is prerequisite to accurate navigation. A technique for selecting appropriate areas for scalar sensor is presented and evaluated.

Index terms: informative path, navigation informativity, map-aided navigation, path planning.

При решении задач навигации нередко используется метод уточнения координат, основанный на сопоставлении измеренных и вычисленных по данным карты значений физических полей Земли [1 – 4]. В отечественной литературе его часто называют корреляционно-экстремальным методом навигации или методом навигации по геофизическим полям (ГФП). Указанный метод обладает рядом отличительных особенностей, среди которых значительную роль играет изменчивость самого поля, так что выбор благоприятного, с точки зрения решения задачи коррекции, маршрута движения представляется весьма важным. Такой выбор может быть сделан на основе некоторой количественной характеристики – навигационной информативности, определяющей пригодность поля для навигации [5 – 7]. Целью работы является разработка методики выбора маршрута, при движении по которому координаты объекта могут быть определены с наилучшей точностью.

Для решения задачи выбора маршрута значения характеристики навигационной информативности нередко представляются в виде карты. При этом становится возможным использовать подход, основанный на теории графов. В рабо-

тах [8, 9] траектория движения формируется на основе известного алгоритма A^* , который является модификацией классического алгоритма Дейкстры. В качестве функции стоимости перехода между вершинами может быть выбрана величина, обратная значению характеристики навигационной информативности.

Известные методы формирования маршрута, как правило, используют скалярную карту информативности. При этом не в полной мере учитывается необходимость уточнения двух координат объекта. Например, если области карты, пригодные для уточнения различных координат, находятся на существенном расстоянии друг от друга, использование скалярной карты информативности может привести к уточнению только одной координаты.

В настоящей работе предлагается методика выбора кусочно-линейного маршрута, позволяющего, если это возможно, уточнить обе координаты подвижного объекта. Методика состоит из четырех основных этапов: построение карт информативности по направлениям; выделение информативных областей; нахождение информативных участков маршрута; формирование итогового маршрута.

В докладе подробно описывается каждый из этапов, приводятся результаты апробации методики и оценки ее эффективности с участием эксперта. Количественные характеристики эффективности методики вычисляются с использованием нижней границы точности по Рао–Крамеру, а также действительной безусловной матрицы ковариаций, полученной методом статистических испытаний.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 18-19-00627).

Библиографический список

1. Белоглазов И. Н., Джанджава Г. И., Чигин Г. П. Основы навигации по геофизическим полям. М.: Наука, 1985. 327 с.
2. Bergman N. Recursive Bayesian estimation: Navigation and tracking applications. Sweden: Linkoping University, 1999. 219 p.
3. Степанов О. А., Торопов А. Б. Методы нелинейной фильтрации в задаче навигации по геофизическим полям. Ч. 1. Обзор алгоритмов // Гироскопия и Навигация. 2015. Т. 23, № 3. – С. 102 – 125.
4. Современные методы и средства измерения параметров гравитационного поля Земли / под общ. ред. В. Г. Пешехонов, О. А. Степанов. СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2017. 390 с.
5. Reynaud S., Louis C. A universal navigability map building approach for improving Terrain-Aided-Navigation accuracy // Proceedings of IEEE / ION Position, Location and Navigation Symposium IEEE / ION Position, Location and Navigation Symposium. IEEE, 2010. P. 888 – 896.
6. Koneshov V. N., Nepoklonov V. B., Avgustov L. I. Estimating the navigation informativity of the Earth's anomalous gravity field // Gyroscopy and Navigation. 2016. V. 7, № 3. P. 277 – 284.
7. Stepanov O. A., Toropov A. B., Nosov A. S. Navigation informativity of geophysical fields in map-aided navigation // Proceedings of DGON Inertial Sensors and Systems (ISS) DGON Inertial Sensors and Systems (ISS). 2017. P. 382 – 400.
8. Bar-Gill A., Ben-Ezra P., Bar-Itzhack I. Y. Improvement of terrain-aided navigation via trajectory optimization // IEEE Transactions on Control Systems Technology. 1994. V. 2, № 4. P. 336 – 342.

9. Формирование траектории корреляционно-экстремальной навигационной системы по критерию минимума погрешностей координат / А. В. Шолохов и др. // Труды XXV Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. СПб., 2018. С. 178 – 180.

References

1. Beloglazov I. N., Janjgava G. I., Chigin G. P. Basics of navigation in geophysical fields. M.: Science, 1985. 327 p.
2. Bergman N. Recursive Bayesian estimation: Navigation and tracking applications. Sweden: Linkoping University, 1999. 219 p.
3. Stepanov O. A., Toropov A. B. Methods of nonlinear filtration in the problem of navigation in geophysical fields. Part 1. Review of algorithms // Gyroscopy and Navigation. 2015. V. 23, № 3. P. 102 – 125.
4. Modern methods and means of measuring the parameters of the Earth's gravitational field / ed. V. G. Peshekhonov, O. A. Stepanov. St. Petersburg: JSC Concern CSRI Elektropribor, 2017. 390 p.
5. Reynaud S., Louis C. A universal navigability map building approach for improving Terrain-Aided-Navigation accuracy // Proceedings of IEEE / ION Position, Location and Navigation Symposium IEEE / ION Position, Location and Navigation Symposium. IEEE, 2010. P. 888 – 896.
6. Koneshov V. N., Nepoklonov V. B., Avgustov L. I. Estimating the navigation informativity of the Earth's anomalous gravity field // Gyroscopy and Navigation. 2016. V. 7, № 3. P. 277 – 284.
7. Stepanov O. A., Toropov A. B., Nosov A. S. Navigation informativity of geophysical fields in map-aided navigation // Proceedings of DGON Inertial Sensors and Systems (ISS) DGON Inertial Sensors and Systems (ISS). 2017. P. 382 – 400.
8. Bar-Gill A., Ben-Ezra P., Bar-Itzhack I. Y. Improvement of terrain-aided navigation via trajectory optimization // IEEE Transactions on Control Systems Technology. 1994. V. 2, № 4. P. 336 – 342.
9. Formation of the trajectory of the correlation-extreme navigation system by the criterion of minimum errors in coordinates / A. V. Sholokhov and others // Proceedings of the XXV St. Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. St. Petersburg, 2018. P. 178 – 180.

Б. К. Поплавский, Е. В. Данилевич, Г. Н. Сироткин, e-mail: shli@lii.ru
(ГНЦ РФ, АО «Летно-исследовательский институт имени М. М. Громова», Жуковский, Россия)

ИНВАРИАНТНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПОЛЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Аннотация. Представлены вопросы применения инвариантных к помехам известной структуры методов в различных задачах автоматизированной обработки информации, полученной в процессе летных испытаний летательных аппаратов.

Ключевые слова: идентификация, инвариантные методы, обработка полетной информации, математические модели движения ЛА, интеллектуальная экспертная система.

В. К. Poplavskiy, E. V. Danilevich, G. N. Sirotkin
(JSC «M. M. Gromov Flight Research Institute», Zhukovsky, Russia)

INVARIANT METHODS OF FLIGHT INFORMATION PROCESSING

Abstract. Application issues of the methods invariant to the interference of known structure in various automated processing of the information obtained during flight tests of the aircraft are presented.

Index terms: identification, invariant methods, flight information processing, mathematical models of aircraft movement, intelligent expert system.

В докладе рассмотрены методы обработки измерительной информации, инвариантные к динамическим и систематическим ошибкам известной структуры. Приведены методы синхронизации измерений, инвариантной фильтрации и прогнозирования параметров состояния ЛА, оценивания математических моделей движения по результатам измерений, выполненных в дискретные равноотстоящие моменты времени, методы раздельного определения суммарной тяги и аэродинамического сопротивления.

Математические модели ЛА и их систем являются основой для создания и использования банков экспериментальных данных и характеристик ЛА, применения интеллектуальных экспертных систем. В докладе приведены алгоритмы идентификации математических моделей движения летательных аппаратов и их систем во временной и частотной областях, в том числе из неустановившихся режимов полета, позволяющие получать результаты в диапазоне изменения параметров полета, перекрывающем допустимые и возможные эксплуатационные условия, а также алгоритмы создания и применения интеллектуальных экспертных систем, в том числе систем поддержки летчика-испытателя, без которых невозможно обеспечить

безопасность и оптимальность испытаний на особых, в том числе закритических режимах полета.

Библиографический список

1. Поплавский Б. К., Леонов В. А. Инвариантное оценивание в испытаниях воздушных судов // Журнал «Полет». 2007. № 2.
2. Идентификация модели и параметров летательного аппарата по результатам летного эксперимента / В. П. Беляев, В. А. Леонов, В. Н. Овчаренко и др. // Известия РАН. Теория и системы управления. 1996. № 4.
3. Динамика полета / А. В. Ефремов, В. Ф. Захарченко, В. Н. Овчаренко и др. М.: Машиностроение – полет, 2017. 775 с.

References

1. Poplavsky B. K., Leonov V. A. Invariant estimation in aircraft tests // The Polet magazine. 2007. № 2.
2. Identification of the model and parameters of the aircraft according to the results of the flight experiment. / V. P. Belyaev, V. A. Leonov, V. N. Ovcharenko et al. // Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems. 1996. № 4.
3. Flight dynamics / A. V. Efremov, V. F. Zakharchenko, V. N. Ovcharenko et al. M.: Mechanical engineering is a flight, 2017. 775 p.

УДК 004.415.53

А. Г. Соболева, e-mail: alis.lsv@yandex.ru, Е. Ю. Сидорова
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

РЕАЛИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ИНТЕГРАЦИИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ И СОЗДАНИЕ ОТЧЕТОВ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПРОХОЖДЕНИЯ ТЕСТОВ

Аннотация. Приведено решение задач реализации непрерывной интеграции для системы автоматизированного тестирования на сервере и автоматического формирования отчетов о результатах прохождения тестов.

Ключевые слова: непрерывная интеграция, отчеты, тестирование программного обеспечения, автоматизированное тестирование.

A. G. Soboleva, E. Yu. Sidorova
(National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

THE IMPLEMENTATION OF THE CONTINUOUS INTEGRATION OF THE WORK OF THE AUTOMATED TESTING SYSTEM AND THE DESIGNING OF THE REPORTS ON TESTS RESULTS

Abstract. The report is devoted to the problems of the implementation of the continuous integration for automated testing system on the server and the automatic creation of the reports on tests results.

Index terms: continuous integration, reports, software testing, automated testing.

В представленном докладе рассматривается разработанная ранее система автоматизированного тестирования системы учета и контроля корреспонденции МОКБ «Марс» [1]. Данная система была разработана для проведения полного перечня функциональных тестов информационной системы предприятия.

Одним из важных пунктов реализации системы тестирования является автоматическое создание отчетов, в которых отображается информация о результатах прохождения тестов (прошел ли тест успешно или неудачно, или же он не прошел вообще). В докладе приводится обзор существующих методов реализации автоматического формирования отчетов и обосновывается выбор наиболее подходящего из них — на основе функций фреймворка (оболочка, позволяющая упростить и ускорить решение типовых задач, характерных для данного языка программирования). В качестве средства реализации автоматического формирования отчетов был выбран Junit Report, поскольку отладка формирования отчетов с его помощью заняла

наименьшее время, а интегрирование этого средства в систему было возможно осуществить достаточно быстро благодаря возможностям используемой среды разработки Eclipse. Junit Report был встроен в систему тестирования с помощью утилиты для автоматизации процесса сборки программного продукта Apache Ant.

Организацию работы системы тестирования было решено проводить на сервере для обеспечения ее непрерывной интеграции. Под непрерывной интеграцией понимается автоматизированный процесс разработки программного обеспечения для скорейшего выявления потенциальных дефектов и решения интеграционных проблем [2]. Для решения поставленной задачи была выделена специальная машина с необходимыми программными средствами запуска системы тестирования. Организация работы системы тестирования на сервере была осуществлена с помощью Jenkins — проекта для непрерывной интеграции с открытым исходным кодом, к которому подключили все настройки запуска системы тестирования и саму систему.

Библиографический список

1. Соболева А. Г., Сидорова Е. Ю., Косинский М. Ю. Разработка системы автоматизированного тестирования системы учета и контроля корреспонденции предприятия // Радиоэлектроника, электротехника, энергетика: тез. докл. XXIV МНТК студентов и аспирантов (15–16 марта 2018 г., Москва). М.: Бином. Центр полиграфических услуг «Радуга», 2018. С. 303.

2. Дюваль П. М., Матиас III С. М., Гловер Э. Непрерывная интеграция: улучшение качества программного обеспечения и снижение риска. М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2008. 240 с.

References

1. Soboleva A. G., Sidorova E. Yu., Kosinsky M. Yu. Development of the system of automated testing of the system of accounting and control of the correspondence of the enterprise // Radioelectronics, electrical engineering, energy: abstracts of the reports of XXIV MNTK students and graduate students (March 15–16, 2018, Moscow). M.: Bean. Center for Printing Services «Rainbow», 2018. P. 303.

2. Duvall P. M., Matyas III S. M., Glover A. Continuous integration: improving software quality and reducing risk. M.: Williams, 2008. 240 p.

УДК 004

С. С. Ткачев, e-mail: tkachew.sergey@yandex.ru

(Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Санкт-Петербург, Россия)

ОБЗОР И АНАЛИЗ LPWAN-ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ СЛУЧАЙНЫЙ МНОЖЕСТВЕННЫЙ ДОСТУП ТИПА АЛОХА (SigFox и LoRa)

Аннотация. Приведены обзор и анализ LPWAN-технологий, использующих случайный множественный доступ типа Алоха. Примером таких сетей являются LoRa и SigFox. Сравнение производится как со стороны технических характеристик технологий, так и со стороны параметра вероятности успешной доставки сообщения в сети.

Ключевые слова: сети низкого энергопотребления, гигагерцовый диапазон, интернет вещей.

S. S. Tkachev

(State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russia)

OVERVIEW AND ANALYSIS OF LPWAN TECHNOLOGIES USING RANDOM MULTIPLE ACCESS OF ALOHA TYPE (SigFox and LoRa)

Abstract. The paper provides an overview and analysis of the LPWAN-technologies using random multiple access of Aloha type. An example of such networks are LoRa and SigFox. The comparison is made both from the technical characteristics of the technologies and from the parameter of the probability of successful delivery of the message in the network.

Index terms: Low Power Wide Area Networks, gigahertz-range, private data, Internet of Things.

Интернет вещей (Internet of Things, IoT) обещает устроить революцию в обыденной жизни и работе. Эта область активно изучается и развивается. К 2020 году количество подключенных компьютеров и устройств по схеме M2M (Machine to Machine) превзойдет число людей на планете. Low Power Wide Area Networks (LPWAN) технологии предоставляют дешевый IoT с низким трафиком, возможностью «общения» между

устройствами на расстоянии от нескольких до 10 км и работу батареи сроком от 10 лет и выше [1].

Технологии LoRa и SigFox являются примером LPWAN-технологий [3, 4].

Целью работы является анализ LPWAN-технологий, использующих случайный множественный доступ типа Алоха, со стороны технических характеристик технологий и со стороны

параметра вероятности успешной доставки сообщения в сети.

Анализ сводится к сравнению технологии LoRa, SigFox и модели случайного множественного доступа Алоха. Для этого необходимо прийти к общей модели системы, чтобы оценить вероятность успешной доставки сообщения на качественном уровне. В результате чего при определенных допущениях технологии LPWAN имеют показатель $P_{уд} > e^{-\alpha\lambda t}$, где коэффициент α зависит от конкретной технологии; λ – интенсивность входного потока; t – длительность сообщения.

Библиографический список

1. **Usman Raza:** Low Power Wide Area Networks: an Overview. URL: https://www.researchgate.net/publication/312450467_Low_Power_Wide_Area_Networks_An_Overview

cation/312450467_Low_Power_Wide_Area_Networks_An_Overview

2. **Верхулевский К.** Особенности и тенденции развития технологии LoRaWAN. URL: <http://www.icquest.ru/upload/c86aa1caae6d63eba860ea923ef4f4e8.pdf>

3. **Кумаритова Д. Л.** Обзор и сравнительный анализ технологий LPWAN-сетей. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20164/33-48.pdf>

References

1. **Usman Raza:** Low Power Wide Area Networks: an Overview. URL: https://www.researchgate.net/publication/312450467_Low_Power_Wide_Area_Networks_An_Overview

2. **Verkhovensky K.** Features and trends of technology development LoRaWAN. URL: <http://www.icquest.ru/upload/c86aa1caae6d63eba860ea923ef4f4e8.pdf>

3. **Kumaritova D. L.** Overview and comparative analysis of LPWAN-network. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20164/33-48.pdf>

УДК 004.89

П. П. Абакшина, Д. А. Титов
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

РАНЖИРОВАНИЕ ТЕКСТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

Аннотация. Рассмотрены совокупности алгоритмов решения задач тематического поиска, отличающиеся от применяемых при поиске в условиях ограниченного времени ответа. Работу основных алгоритмов ранжирования демонстрируют модели системы отложенного поиска.

Ключевые слова: информационный поиск, машинное обучение, ранжирование.

P. P. Abakshina, D. A. Titov
(National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

RANKING OF TEXTS WHEN CONDUCTING A THEMATIC SEARCH IN THE NETWORK

Abstract. In this paper, we consider a set of algorithms for solving the thematic search problems that differ from those used in the search in the conditions of a limited response time. The work of the basic ranking algorithms demonstrates the models of the pending search system.

Index terms: information retrieval, machine learning, ranking.

В результате проведенных работ была разработана модель поисковой системы на базе основных алгоритмов ранжирования, основанных на попарном (RankNet, Ranking SVM и т.д.) и списочном подходах (SoftRank,

AdaRank и т.д.) [1]. Демонстрация алгоритмов происходит с участием пользователя, который выступает в роли ассессора, что позволяет ему корректировать результаты, полученные системой.

Использование в совокупности с машинным обучением [2] этапа семантической обработки текста позволяет частично автоматизировать этап анализа текста и улучшить качество поиска. На основе разработанной системы могут быть реализованы программные средства для создания и обновления тематических коллекций документов [3], которые могут применяться в научно-исследовательских работах, для получения информации о предметной области из сети Интернет. Повышение точности результатов происходит за счет более тщательного анализа текста и использования второстепенных критериев при построении поисковой модели.

Из-за того что первоначальный этап поиска система производит по своим внутренним статистическим данным, алгоритм иногда ошибается и может поместить текст не в свою позицию. По мере того как система накапливает достаточно статистической информации, выдача алгоритмов становится все более и более аккуратной.

Созданный прототип тематической поисковой системы отражает в себе основные принципы работы поисковых систем, а также в некоторых случаях расширяет их возможности.

Так, указание конкретной области поиска является дополнительной гарантией качества результирующей выборки. Правильное формулирование задачи поиска определяет область знаний, в которой нужно его осуществить, что облегчает последующее решение задачи.

Библиографический список

1. **Ти-Ян Ли.** Обучение ранжированию при информационном поиске. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2011.
2. **Флах П.** Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. М.: ДМК Пресс, 2015.
3. **Берд С., Клейн Э., Лопер Э.** Обработка естественного языка с использованием Python O'Reilly Media. 2009.

References

1. **Tie-Yan Liu.** Learning to Rank for Information Retrieval. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2011.
2. **Flach P.** Machine learning. Science and the art of constructing algorithms that extract knowledge from data. M.: DMK Press, 2015.
3. **Berd S., Klein E., Loper E.** Natural language processing using Python O'Reilly Media. 2009.

УДК 004.054

А. С. Данилкина, e-mail: nastyadanilkina1294@yandex.ru, Д. А. Титов
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия)

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО МОДУЛЯ АВТОРИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ДОКУМЕНТООБОРОТА

Аннотация. Рассмотрены стратегии и подходы к разработке автоматизированного тестирования, а также разработана собственная стратегия, решающая задачу покрытия автотестами универсального модуля авторизации распределенных систем документооборота.

Ключевые слова: автоматизированное тестирование, распределенные системы документооборота, покрытие автотестами.

A. S. Danilkina, D. A. Titov
(National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

APPLICATION DEVELOPMENT FOR TESTING UNIVERSAL MODULE OF AUTHORIZATION OF DISTRIBUTED DOCUMENT MANAGEMENT SYSTEMS

Abstract. There are approaches to the development and strategies for automated testing and strategy is proposed that solves the problem of covering with auto-tests an universal module of authorization of distributed document management systems.

Indexed terms: automated testing, distributed document management systems, autotests coverage.

Большая часть времени при разработке ПО уходит на отладку приложений, причем поиск ошибок в коде занимает значительно больше времени, нежели их исправление [1]. Автоматизированное тестирование позволяет сократить время поиска дефектов в силу ряда причин [2]: во-первых, это полезный и быстрый тип обратной связи в процессе модификации существующего приложения, во-вторых, исключение человеческого фактора из процесса тестирования, в-третьих, возможность проведения тестирования специалистами в области обеспечения качества ПО.

В данной работе представлена стратегия, позволяющая комбинировать современные техники и технологии автоматизированного тестирования веб-приложений и решающая основные вопросы, возникающие при проектировании современных систем автоматизированного тестирования веб-приложений. Базовой частью разработанной стратегии автоматизированного тестирования является подход Recorded Test, его отрицательные стороны компенсируются Scripted Test, что позволяет быстро создавать регрессионные тесты. Применение Page Object Pattern и использование CI Jenkins с собственными раз-

работками в области настроек нотификации и протоколирования результатов тестирования позволило осуществлять непрерывное взаимодействие всех членов команды, задействованных в тестировании системы. Стратегия и разработанная в соответствии с ней система прошли апробацию в АО «Системы и Проекты» на универсальном модуле авторизации распределенных систем документооборота. Результаты внедрения автоматизации тестирования позволяют сделать вывод о существенном сокращении временных затрат рабочей группы проекта на поиск и исправление ошибок в модуле «Авторизация».

Библиографический список

1. Бек К. Экстремальное программирование. Разработка через тестирование. СПб.: Питер. Библиотека программиста, 2017. С. 142.
2. Месарош Дж. Шаблоны тестирования xUnit: рефакторинг кода тестов. М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2009. С. 325.

References

1. Beck K. Test-driven Development by Example. SPb.: Piter. Programmers Library, 2017. P. 142.
2. Meszaros G. xUnit Test Patterns. Refactoring Test Code. M.: ООО «I. D. Williams», 2009. P. 325.

УДК 917

Г. С. Тихомиров, e-mail: tgs.vrn@bk.ru, В. Г. Задорожний, e-mail: zador@amm.vsu.ru
(ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Россия)

МОДЕЛИ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ

Аннотация. Рассмотрена задача расчета выигравшей стороны при боевых действиях, описываемых линейной системой дифференциальных уравнений, коэффициенты которой являются случайными процессами. Сторона считается проигравшей, если ее текущее или среднее значение численности боевых единиц равно нулю. Целью работы является оценка влияния случайных факторов в процессе боевых действий. Рассмотрены варианты различных случайных процессов: дискретный, гауссов и вариант со случайной величиной.

Ключевые слова: модель боевых действий, случайный процесс, случайная величина.

G. S. Tikhomirov, V. G. Zadorozhniy
(Voronezh State University, Voronezh, Russia)

MODELS OF MILITARY OPERATIONS

Abstract. The problem of calculating the winning side in combat operations, described by a linear system of differential equations, the coefficients of which are random processes, is considered. A party is considered a loser if its current or average value of the number of combat units is zero. The aim of the work is to assess the impact of random factors in the process of combat operations. Variants of various random processes are considered: discrete, Gaussian and random variable.

Index terms: model of military operations, random process, random variable.

Существующие математические модели, описывающие боевые действия, не учитывают случайных факторов, поэтому их использование не приводит к получению корректных результатов [1].

Целью работы является разработка моделей боевых действий с учетом влияния случайных факторов в процессе взаимодействия двух сторон.

В работе проведен анализ существующих моделей боевых действий с изменением их структуры и последующим введением в нее случайных процессов и случайных величин.

Основным результатом работы является получение явных выражений для математических ожиданий численности двух сторон, участвующих в конфликте, и зависимостей численности противоборствующих сторон от времени. Полученные формулы позволяют рассчитать процессы изменения текущих и средних значений боевых единиц сторон во времени и определить победившую сторону.

Расчеты показывают, что при замене случайных коэффициентов их средними значениями получаются результаты, которые существенно отличаются от истинного поведения системы. Получены формулы для текущих и средних значений численности боевых единиц при дискретных случайных процессах и для моделей, содержащих случайные величины. Также построены фазовые плоскости моделей боевых действий и графики зависимостей численности сторон и математических ожиданий от времени.

Библиографический список

1. Митюков Н. В. К вопросу о типологии Ланчестерских моделей [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aik-sng.ru/text/krug/8/375-399.pdf>

References

1. Mityukova N. V. On the question of the typology of Lanchester models [Electronic resource]. URL: <http://www.aik-sng.ru/text/krug/8/375-399.pdf>

И. Г. Ханьков

(Институт информатики и автоматизации Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия)

ТИПОВАЯ БЛОК-СХЕМА АППРОКСИМАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ИЕРАРХИЕЙ ПРИБЛИЖЕНИЙ

Аннотация. Выдвинуты актуальные требования к алгоритму сегментации. Указано, каким требованиям удовлетворяет классический метод кластеризации данных по Уорду, и недостаток применения к обработке изображений. Предложена трехэтапная блок-схема аппроксимации изображения иерархической последовательностью приближений и программные реализации каждого блока.

Ключевые слова: квазиоптимальная сегментация, кластеризация пикселей, аппроксимация изображений, иерархическая последовательность разбиений.

I. G. Khanykov

(Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia)

THE TYPICAL BLOCK-SCHEME OF APPROACHING THE IMAGE BY MEANS HE HIERARCHY OF APPROXIMATIONS

Abstract. The actual requirements for the segmentation algorithm are imposed. The requirements that the Ward's clustering method satisfies and the lackage of its implementation in image segmentation are identified. A three-stage block-scheme of the approximation of the image by a hierarchical sequence of approximations is proposed and the variants of the software implementation of each block are considered.

Index terms: quasi-optimal segmentation, pixel clustering, image approximation, hierarchical sequence of partitions.

Задача сегментации относится к сложным, поскольку требует значительного объема вычислительных ресурсов. Среди актуальных требований к алгоритмам сегментации выделяют:

1) работу при отсутствии априорной информации об объектах интереса, тематической сути изображений;

2) по умолчанию сегментировать изображение на любое число цветов/кластеров от 1 до N , где N – число пикселей в рассматриваемом изображении;

3) наличие установленного критерия качества, который позволяет оценивать полученное разбиение изображения на кластеры/сегменты;

4) выполнение вычислений в режиме реального времени;

5) наличие структуры данных, позволяющей выполнять операции «отката» в прошлое разбиение, либо посредством встречных операций находить новое разбиение, которое характеризуется лучшим значением установленного критерия качества.

Классический метод Уорда [1] кластеризации данных удовлетворяет только первым трем приведенным требованиям. Метод заключается в последовательном слиянии пар кластеров в один, либо разделении кластера на два. Оценкой качества служит приращение ΔE суммарной квадратичной ошибки E . На каждом шаге объединения выбирается такая пара кластеров, которая приводит к минимальному приращению ΔE ошибки. Метод Уорда не применим к обработке изображений из-за высокой вычислительной сложности, возникающей при постоянном переборе.

Перечисленным требованиям удовлетворяет трехэтапная схема генерации последовательности квазиоптимальных приближений. Под *приближением* понимаем разбиение исходного изображения на однородные по цвету области, значения пикселей которых усреднены внутри кластера. Последовательность приближений образует иерархию, так как очередное приближение получается из предыдущего делением однородной области на две, либо объединением двух областей.

Предлагаемая схема является типовой, поскольку первые два блока имеют различные варианты программной реализации. В первом блоке выполняется быстрое построение грубой иерархии. Его программной реализацией служат, например, модель сегментации Мамфорда–Шаха [2], либо применение метода Уорда по частям изображения, которые заданы грубым делением регулярной решеткой.

Во втором блоке выполняется улучшение качества заданного приближения. Разработаны методы *SI* (Segmentation Improvement) [3] и *K-meanless* [4], которые понижают значение ошибки аппроксимации. *SI*-метод делит одну однородную область и объединяет две смежные. *K-meanless* метод выполняет реклассификацию пикселей из одной области в другую. Комбинация методов порождает варианты реализации блока. В третьем блоке выполняется «сборка» результатов классическим методом Уорда.

Предложенная трехэтапная схема позволяет обойти проблему вычислительной сложности за счет разделения процесса обработки на этапы; улучшить качество результатов любой сегментации; выделить одинаковые объекты на стереоснимках; строить различные программные реализации блоков при условии использования единой структуры данных.

Библиографический список

1. Ward J. H., Jr. Hierarchical grouping to optimize an objective function // J. Am. Stat. Assoc. 1963. V. 58, Is. 301. P. 236 – 244.
2. Mumford D., Shah J. Boundary detection by minimizing functionals, I // Proc. IEEE Comput. Vision Patt. Recogn. Conf., San Francisco, 1985. P. 22 – 26.
3. Харинов М. В., Ханыков И. Г. Оптимизация кусочно-постоянного приближения сегментированного изображения // Труды СПИИРАН. 2015. Т. 3, № 40. С. 183 – 202.
4. Kharinov M. Reclassification formula that provides to surpass K-means method // arXiv preprint arXiv: 1209.6204. 2012.

References

1. Ward J. H., Jr. Hierarchical grouping to optimize an objective function // J. Am. Stat. Assoc. 1963. V. 58, Is. 301. P. 236 – 244.
2. Mumford D., Shah J. Boundary detection by minimizing functionals, I // Proc. IEEE Comput. Vision Patt. Recogn. Conf., San Francisco, 1985. P. 22 – 26.
3. Kharinov M. V., Khanykov I. G. Optimization of Piecewise Constant Approximation for Segmented Image // SPIIRAS Proceedings. 2015. V. 3, Is. 40. P. 183 – 202.
4. Kharinov M. Reclassification formula that provides to surpass K-means method // arXiv preprint arXiv: 1209.6204. 2012.

УДК 625.7.018.7.05:629.783

Е. Г. Харин, И. А. Копылов, В. А. Копелович, А. Ф. Якушев, В. Б. Ильин, К. С. Минченкова, e-mail: nio9@lil.ru
(ГНЦ РФ, АО «Летно-исследовательский институт имени М. М. Громова», Жуковский, Россия)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛЕТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ИНЕРЦИАЛЬНО-СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Изложены методы и средства, разработанные в Летно-исследовательском институте имени М. М. Громова, применяемые при летных испытаниях инерциально-спутниковых навигационных систем современных летательных аппаратов.

Ключевые слова: инерциальная и спутниковая навигационные системы, летные испытания, методы оценивания.

Ye. G. Kharin, I. A. Kopylov, V. A. Kopelovich, A. F. Yakushev, V. B. Ilyin, K. S. Minchenkova
(JSC «M. M. Gromov Flight Research Institute», Zhukovsky, Russia)

FLIGHT TEST FACILITIES FOR INERTIAL AND SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS

Abstract. New and existing methods and means for assessing characteristics in flight tests of advanced inertial and satellite systems are considered.

Index terms: inertial and satellite navigation systems, flight tests, estimation methods.

Объем информационного взаимодействия систем пилотажно-навигационного оборудования постоянно увеличивается. Растет и точность навигационного определения бортовых навигационных систем. Например, погрешность определения координат инерциально-спутниковых систем с вероятностью 0,95 не должна превышать величины порядка 10 м. При проведении летных испытаний летательного аппарата и его бортового оборудования необходимо оценить соответствие бортовых систем заданным на них требованиям. К средствам обеспечения летных испытаний предъявляются высокие требования по возможностям регистрации информационных потоков, точности определения действительных значений траекторных параметров летательного аппарата, синхронизации информации бортовых систем и траекторных измерений.

Многоцелевой малогабаритный комплекс бортовых траекторных измерений (КБТИ) был разработан в ЛИИ им. М. М. Громова для обеспечения летных испытаний авионики [1]. КБТИ предоставляет возможность инженеру-экспериментатору производить экспресс-анализ материалов летных испытаний непосредственно в полете или сразу после его окончания. Накопленные в полете материалы, включающие в себя

информацию бортовых систем и траекторные параметры летательного аппарата, оперативно поступают на сервер локальной вычислительной сети для обработки и анализа материалов летных испытаний пилотажно-навигационного оборудования. Получаемые таблицы, графики и характеристики бортового оборудования составляют основу протоколов и актов по результатам летных испытаний бортового оборудования, включая инерциально-спутниковые системы.

КБТИ производит измерения траекторных параметров летательного аппарата на основе дифференциального режима СНС по кодовым и фазовым измерениям и комплексной обработки информации дифференциального режима СНС и инерциальной навигационной системы. Для получения данных дифференциального режима по измерениям навигационных спутников ГЛОНАСС и GPS в районе испытательного аэродрома размещается наземная базовая корректирующая станция. Траекторные данные КБТИ обладают высокими точностными характеристиками. Погрешность определения координат летательного аппарата не превышает 1 м, скорости – 0,2 м/с, что достаточно для оценивания погрешности инерциально-спутниковых систем.

В бортовом блоке КБТИ обеспечивается регистрация параметров в следующих цифровых форматах: ARINC-429; RS-232; MIL-STD-1553; ARINC-664 (AFDX). Непрерывная регистрация параметров производится до 10 часов.

Для обработки материалов летных испытаний в ЛИИ им. М. М. Громова разработаны специализированные программно-математические комплексы. При исследовании характеристик инерциальных и инерциально-спутниковых навигационных систем применяются программные комплексы (ПК) «Анализ» и «Эталон». ПК «Анализ» осуществляет контроль сбойных значений, пересчеты координат, интерполяцию параметров, вычисление погрешностей параметров, проведение статистической обработки наборов погрешностей. Отображение информации производится в табличном и графическом видах. Программный комплекс имеет дружественный интерфейс и предусматривает выполнение произвольных вычислений в соответствии с алгоритмами, самостоятельно разработанными пользователями ПК.

Программный комплекс «Эталон» производит комплексную обработку информации инерциальной и спутниковой навигационных систем. В комплексе реализован алгоритм оптимальной обработки информации на основе фильтра Калмана, позволяющий разделить ошибки инерциальной навигационной системы на составляющие и оценить инструментальные погрешности

датчиков первичной инерциальной информации, а также вычислить высокоточные значения координат летательного аппарата, составляющие его вектора скорости и истинного курса [2].

Внедрение в практику летных испытаний КБТИ и указанных программных комплексов привело к изменению всей технологии проведения летных испытаний бортового оборудования летательных аппаратов. Новые технологии позволяют решать целый спектр задач, стоящих перед летными испытаниями, включая оценивание характеристик инерциально-спутниковых навигационных систем.

Библиографический список

1. Харин Е. Г., Копылов И. А. Технологии летных испытаний бортового оборудования летательных аппаратов с применением комплекса бортовых траекторных измерений. М.: МАИ-ПРИНТ, 2012. 360 с.
2. Харин Е. Г. Комплексная обработка информации навигационных систем летательных аппаратов: учеб. пособие. М.: МАИ, 2002. 264 с.

References

1. Kharin E. G., Kopylov I. A. Technologies of flight testing of airborne equipment of aircraft with the use of a set of onboard trajectory measurements. M.: MAI-PRINT, 2012. 360 p.
2. Harin E. G. Integrated processing of information of aircraft navigation systems: tutorial. M.: MAI, 2002. 264 p.

УДК 536.629

Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов, e-mail: romankurnosov@rambler.ru, М. А. Каменская
(ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия)

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Аннотация. Разработана информационно-аналитическая система, в которой реализован метод оценки метрологической надежности, базирующийся на построении математических моделей изменения во времени метрологических характеристик проектируемых ЭИС с использованием аппарата аналитико-вероятностного прогнозирования.

Ключевые слова: электронно-измерительное средство, информационно-аналитическая, метрологическая надежность, метрологическая характеристика.

T. I. Chernyshova, R. Yu. Kurnosov, M. A. Kamenskaya
(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

INFORMATION-ANALYTICAL SYSTEM OF ESTIMATION OF METROLOGICAL RELIABILITY ELECTRONIC MEASURING MEANS

Abstract. The information-analytical system is developed; the method of estimation of metrological reliability based on construction of mathematical models of change in time of metrological characteristics of the projected EIS with use of the device of analytical-probabilistic forecasting is realized.

Index terms: electronic measuring instrument, information and analytical, metrological reliability, metrological characteristics.

При проектировании электронных измерительных средств (ЭИС) 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.

Создана информационно-аналитическая система (ИАС), в которой реализован метод оценки и прогнозирования МН различных ЭИС, основанный на построении математических моделей изменения во времени МХ разрабатываемых ЭИС с применением аналитико-вероятностного прогнозирования [1]. В основе метода лежит математическое моделирование нестационарных случайных процессов изменения во времени метрологических характеристик ЭИС.

Состояние МХ определяется с использованием данных об изменении во времени параметров элементов ЭИС, поэтому чтобы сформировать базу данных значений МХ в заданные моменты времени функционирования, применяется

метод статистического моделирования по данным об изменениях во времени случайных величин параметров составляющих элементов ЭИС.

Реализация процедуры статистического моделирования осуществляется с использованием существующей в ИАС базы данных, включающей комплекс ММ временного изменения параметров комплектующих ЭИС элементов [2]. Интерфейс ИАС дает возможность добавлять в базу новые данные, ранее в нее не заложенные. По результатам проведенного статистического моделирования ИАС позволяет сформировать ММ временного изменения МХ проектируемой ЭИС, которая является основой для определения основных показателей метрологической надежности ЭИС: метрологического ресурса и вероятности сохранения метрологической исправности в заданные моменты времени предстоящей эксплуатации. Указанные результаты формируются в ИАС с использованием аппарата аналитико-вероятностного прогнозирования. При этом ИАС позволяет провести выбор оптимального мате-

математического описания изменения во времени МХ ЭИС, исходя из заложенных в базу данных различных видов нелинейных моделей: экспоненциальных, логарифмических, полиномиальных, рациональных и авторегрессионных. В ИАС предусмотрена возможность решения задач метрологического обслуживания ЭИС на этапе его предстоящей эксплуатации. В частности, на основе построенной ММ изменения во времени МХ исследуемого ЭИС решаются задачи определения величины межповерочных интервалов и необходимого количества измерений при проведении метрологических поверок ЭИС с использованием внесенных в ИАС соответствующих расчетных соотношений. На заключительном этапе в ИАС проводится расчет показателей качества проведенного прогнозирования МН: рассчитывается точность и достоверность прогнозирования на основе заложенных в ИАС аналитических зависимостей.

Таким образом, разработанная информационно-аналитическая система позволяет прогнозировать МН ЭИС на этапе их проектирования и дать рекомендации по метрологическому обслуживанию разрабатываемых измерительных средств при их предстоящей эксплуатации.

Библиографический список

1. Чернышова Т. И., Каменская М. А., Курносков Р. Ю. Математическое моделирование метрологических характеристик при оценке метрологической надежности электронных измерительных средств // Вестник ТГТУ. 2017. Т. 23, № 2. С. 209 – 215.
2. Чернышова Т. И., Третьяков В. В. Применение математического моделирования при реализации методов оценки и повышения метрологического ресурса аналоговых блоков информационно-измерительных систем // Вестник ТГТУ. 2015. Т. 21, № 2. С. 239 – 247.

References

1. Chernyshova T. I., Kamenskaya M. A., Kurnosov R. Y. Mathematical modeling of metrological characteristics in the evaluation of metrological reliability of electronic measuring instruments // Vestnik TSTU. 2017. V. 23, № 2. P. 209 – 215.
2. Chernyshova T. I., Tretyakov V. V. Application of Mathematical Modeling for Evaluation Methods and Improvement of Metrological Resource of Analog Units of Data-Measuring Systems // Vestnik TGTU. 2015. V. 21, № 2. P. 239 – 247.

УДК 536.2

Е. В. Буланов, В. О. Буланова, С. В. Пономарев, А. Г. Дивин, e-mail: kafedra@uks.tstu.ru
(ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Тамбов, Россия)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПЛОСКОГО ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛОТЫ

Аннотация. Разработана математическая модель измерения коэффициента теплопроводности и коэффициента температуропроводности твердых материалов методом плоского импульсного источника теплоты с использованием методов метрологии и теории теплопроводности.

Ключевые слова: температуропроводность, теплопроводность, измерение, тепловой импульс, обработка данных.

E. V. Bulanov, V. O. Bulanova, S. V. Ponomarev, A. G. Divin
(Tambov State Technical University, Tambov, Russia)

MODELING THE MEASUREMENT OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF SOLID MATERIALS BY THE METHOD OF A PLANE IMPULSE HEAT SOURCE

Abstract. A mathematical model was developed for measuring the coefficient of thermal conductivity and the coefficient of thermal diffusivity of solid materials by the method of a plane impulse heat source using the methods of metrology and the theory of heat conduction.

Index terms: thermal diffusivity, thermal conductivity, measurement, thermal impulse, data processing.

При использовании плоского импульсного источника теплоты решение краевой задачи при непрерывно действующем постоянном источнике теплоты имеет вид [1, 2]

$$f(x, \tau, \tau_{\text{и}}, a) = \begin{cases} \sqrt{a\tau} \operatorname{ierfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}}\right) & \text{при } 0 < \tau < \tau_{\text{и}}; \\ \sqrt{a\tau} \operatorname{ierfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}}\right) - \sqrt{a(\tau - \tau_{\text{и}})} \times \\ \times \operatorname{ierfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a(\tau - \tau_{\text{и}})}}\right) & \text{при } \tau > \tau_{\text{и}}. \end{cases} \quad (1)$$

Методика обработки экспериментальных данных, предлагаемая авторами, базируется на использовании безразмерного параметра $\gamma = \frac{T(r, \tau) - T_0}{T_{\text{max}} - T_0}$, представляющего собой отношение разности температур $[T(r, \tau) - T_0]$ (в момент времени τ) к максимальному значению разности

температур $[T(r, \tau_{\text{max}}) - T_0] = [T_{\text{max}} - T_0]$, имеющему место в момент времени $\tau = \tau_{\text{max}}$.

При математическом моделировании процесса измерения ТФС сначала с постоянным шагом $\Delta\tau$ во времени τ по формуле (1) вычисляли и регистрировали (в виде массивов) значения разностей температур $[T(r, \tau_i) - T_0]$ и моментов времени $\tau_i, i = 1, 2, \dots, n$, а затем по массиву полученных данных $[T(r, \tau_i) - T_0], \tau_i, i = 1, 2, \dots, n$ находили максимальное значение $[T_{\text{max}} - T_0]$ этой разности. После этого методом интерполяции находили значение момента времени τ' , соответствующее величине разностей температур $[T(r, \tau) - T_0] = \gamma[T_{\text{max}} - T_0]$.

Поделив зависимость (1) при $\tau > \tau_{\text{и}}$ на последнее выражение, получим

$$\gamma = \frac{T(x, \tau) - T_0}{T_{\text{max}} - T_0} = \frac{\frac{\operatorname{ierfc}[U(\tau)]}{U(\tau)} - \frac{\operatorname{ierfc}[U(\tau - \tau_{\text{и}})]}{U(\tau)}}{\frac{\operatorname{ierfc}[U(\tau_{\text{max}})]}{U(\tau_{\text{max}})} - \frac{\operatorname{ierfc}[U(\tau_{\text{max}} - \tau_{\text{и}})]}{U(\tau_{\text{max}} - \tau_{\text{и}})}}.$$

Если известны из эксперимента длительность τ_n теплового импульса, значения разности температур $[T(r, \tau_i) - T_0]$ и соответствующие им значения моментов времени $\tau_i, i = 1, 2, \dots, n$, то путем решения данного уравнения находим значение безразмерной величины $U(\tau') = \frac{r^2}{4a\tau'}$, соответствующее заданной величине параметра γ и известному моменту времени τ' . Далее, используя расчетное соотношение $a = \frac{x^2}{4\tau'(U(\tau'))^2}$, вычислим коэффициент температуропроводности и, используя соотношение $\lambda = \Phi[U(\tau'), \tau_n, \tau'] q_c x / [T(x, \tau') - T_0]$, вычислим теплопроводность, где

$$\Phi[U(\tau'), \tau_n, \tau'] = \text{ierfc}[U(\tau')]/U(\tau') - \text{ierfc}[U(\tau')\sqrt{\tau'/(\tau' - \tau_n)}]/(U(\tau')\sqrt{\tau'/(\tau' - \tau_n)})$$

Таким образом, можно существенно снизить временные и финансовые затраты благодаря определению оптимальных параметров эксперимента на этапе его планирования, следуя предлагаемой в работе [3] методике при проведении научно-исследовательских работ по определению ТФС твердых материалов.

Библиографический список

1. Шашков А. Г., Волохов Г. М., Абраменко Т. М. Методы определения теплопроводности и температуропроводности. М.: Энергия, 1973. 336 с.
2. Теоретические и практические основы теплофизических измерений: монография / С. В. Пономарев, С. В. Мищенко, А. Г. Дивин и др.; под ред. С. В. Пономарева. М.: Физматлит, 2008. 408 с.
3. Ponomarev S. V., Bulanov V. O., Divin A. G., Bulanov E. V. Optimization of Measurements of the Thermophysical Parameters of Heat-Insulating Materials by Means of a Linear Pulse Heat Source // Measurement Techniques. September 2017. V. 60. Is. 6. P. 583 – 588.

References

1. Shashkov A. G., Volokhov G. M., Abramenko T. M. Methods for determination of thermal conductivity and thermal diffusivity. M.: Energia, 1973. 336 p.
2. Theoretical and practical basis of thermophysical measurements: monograph / S. V. Ponomarev, S. V. Mishchenko, A. G. Divin et al.; ed. S. V. Ponomareva. M.: Fizmatlit, 2008. 408 p.
3. Ponomarev S. V., Bulanov V. O., Divin A. G., Bulanov E. V. Optimization of Measurements of the Thermophysical Parameters of Heat-Insulating Materials by Means of a Linear Pulse Heat Source // Measurement Techniques. September 2017. V. 60. Is. 6. P. 583 – 588.

Секция 10

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИКЛАДНОЙ И ГУМАНИТАРНОЙ СФЕРЕ

А. А. Матвеева, магистр каф. информационно-сетевых технологий, e-mail: temperaal@gmail.com
(Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА КОМПРЕССИИ ВТОРОГО КОМПОНЕНТА СТЕРЕОПАРЫ ПРИ СОХРАНЕНИИ И ПЕРЕДАЧЕ 3D-ВИДЕО И ОДИНОЧНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Аннотация. Рассмотрена методика передачи стереопары с учетом корреляции между компонентами и без.
Ключевые слова: стереопара, 3D-телевидение, сжатие, алгоритм.

A. A. Matveeva
(State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russia)

STUDY OF THE METHOD OF COMPRESSION OF THE SECOND COMPONENT OF THE STEREOPAIR FOR THE CONSERVATION AND TRANSFER OF 3D-VIDEO AND SINGLE IMAGES

Abstract. The method of transmission of stereo pairs taking into account the correlation between components and without is considered.

Index terms: Stereo, 3D TV, Compression, Algorem.

Безусловно 3D-видео в кинотеатрах последнее время набирает популярность, но домашний просмотр так и не получил должной популярности. На это есть несколько взаимосвязанных причин. Рассмотрим корень проблемы – упрощение передачи сигнала по каналу связи [1] и передачи с учетом корреляции (рис. 1, 2).



Рис. 1. Схема независимой передачи стереопары



Рис. 2. Передача одного из кадров стереопары и разностного изображения

Но для начала необходимо разобраться, что такое стереоизображение, как его получают и за счет чего человек видит мир [2] объемным (рис. 3).



Рис. 3. Принцип работы бинокулярного зрения

Также необходимо разобраться, что такое экранный параллакс (рис. 4) и почему он играет такую большую роль при создании стереоизображения.

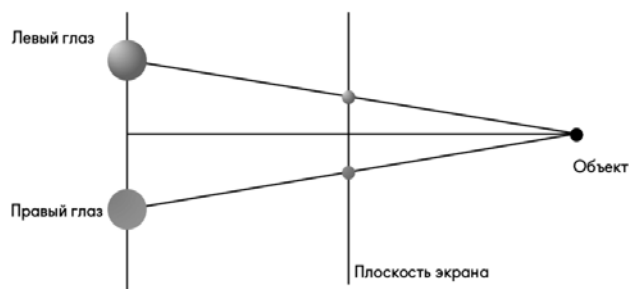


Рис. 4. Экранный параллакс

Будут рассмотрены избыточные и оптимальные методы передачи изображения, а также разобрана суть метода компрессии для передачи разностного сигнала стереопары.

Библиографический список

1. **Хабр**. Алгоритмы сжатия изображений. URL: <https://habr.com/post/116697/> (дата обращения: 20.05.2018).

2. **Красильников Н. Н.** Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 112 с.

References

1. **Habr**. Algoritmyi szhatiya izobrazheniy. URL: <https://habr.com/post/116697/> (data obrascheniya: 20.05.2018).

2. **Krasilnikov N. N.** Tsifrovaya obrabotka 2D- i 3D-izobrazheniy. SPb.: BHV-Peterburg, 2011. 112 p.

Ю. В. Соколова, магистр каф. информационно-сетевых технологий, e-mail: julia.12@mail.ru
(Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Санкт-Петербург, Россия)

СИНТЕЗ ДИСКРЕТНЫХ ФИЛЬТРОВ МЕТОДОМ ИНВАРИАНТНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Аннотация. Рассмотрена методика синтеза разнообразных дискретных линейных систем на основе известных дифференциальных уравнений непрерывных фильтров-аналогов с использованием разностных уравнений. Приведены примеры проектирования дискретных фильтров методом инвариантных дифференциальных уравнений.

Ключевые слова: фильтр, дифференциальное уравнение, разностное уравнение, частотная передаточная функция.

Y. V. Sokolova

(State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russia)

SYNTHESIS OF DISCRETE FILTERS BY THE METHOD OF INVARIANT DIFFERENTIAL EQUATIONS

Abstract. The technique of synthesis of various discrete linear systems on the basis of known differential equations of continuous analog filters using difference equations is considered. Examples of designing discrete filters by the method of invariant differential equations are given.

Index terms: filter, differential equation, difference equation, frequency transfer function.

Для синтеза дискретных фильтров по их непрерывным аналогам используются как частотные, так и временные методы [1].

Оба метода основаны на применении для создания дискретных фильтров отсчетов импульсной или переходной характеристик непрерывного фильтра-аналога.

Вместе с тем возможен метод синтеза дискретных фильтров на основе дифференциальных уравнений, описывающих работу непрерывных фильтров [2].

В литературе данному методу практически не уделено должного внимания. Однако использование дифференциальных уравнений позволяет сравнительно легко получать алгоритмы рабо-

ты практически любых дискретных фильтров – фильтров нижних и верхних частот, полосовых и режекторных фильтров.

Целью работы является создание методики синтеза дискретных фильтров с использованием дифференциальных уравнений непрерывных фильтров-аналогов.

В общем виде для получения разностных уравнений, описывающих работу синтезируемых дискретных фильтров, производные дифференциальных уравнений заменяются аналогами в виде разностных уравнений. Приведена таблица с весовыми коэффициентами фильтров различных порядков. При правильном выборе периода дискретности частотные свойства син-

тезированных фильтров практически совпадают с частотными свойствами соответствующих непрерывных фильтров. В качестве примера получены разностные уравнения для фильтров, которые могут быть использованы в измерителях скорости, дальности, углового положения объекта.

Предложенная методика позволяет создать разнообразие линейных систем, такие как фильтры нижних и верхних частот, колебательные звенья, режекторные и селективные фильтры, используемые в разнообразных системах обработки информации.

Библиографический список

1. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: БВХ-Петербург, 2015. 756 с.
2. Воробьев С. Н. Цифровая обработка сигналов. М.: Академия, 2013. 318 с.

References

1. Sergienko A. B. Tsifrovaya obrabotka signalov [Digital Signal Processing]. SPb.: BVH-Petersburg Publ., 2015. 756 p.
2. Vorobyov S. N. Tsifrovaia obrabotka signalov [Digital Signal Processing]. M.: Akademiia Publ., 2013. 318 p.

УДК 519.63:678.7

А. В. Карманов, e-mail: andrikar93@yandex.ru
(ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Россия);
С. Г. Тихомиров, e-mail: tikhomirov_57@mail.ru
(ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Воронеж, Россия)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕСТРУКЦИИ БУТИЛОВЫХ РЕЗИН ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Аннотация. Рассмотрена метаматематическая модель процесса деструкции резин на основе бутилкаучука при воздействии на них ионизирующего излучения. На основе экспериментальных данных измерения вязкости по Муни облученных резин получено описание кинетики их деструкции.

Ключевые слова: математическая модель, деструкция, бутилкаучук, вязкость, ионизирующее излучение.

MODELING OF THE DESTRUCTION PROCESS OF BUTYL RUBBER UNDER THE IONIZING RADIATION IMPACT

А. В. Karmanov
(Voronezh State Technical University, Russia);
S. G. Tikhomirov
(Voronezh State University of Engineering Technology, Voronezh, Russia)

Abstract. A mathematical model of the destruction process of butyl rubbers under the ionizing radiation impact is considered. On the basis of experimental data of measuring the Mooney viscosity of irradiated rubbers, a description of the kinetics of their destruction is obtained.

Index terms: mathematical model, destruction, rubber, butyl rubber, viscosity Mooney, ionizing radiation.

Целью работы явилась разработка математической модели процесса радиационной деструкции резин на основе бутил каучука. Резины подвергали облучению на источнике Co^{60} дозами 20...100 кГр. Основой для построения модели послужил подход, описанный авторами работы [1]. Исходя из допущения, что в процессе деструкции из произвольной молекулы полимера

образуются два неактивных радикала, его можно описать уравнением

$$\begin{cases} \frac{dR}{d\theta} = k_1 (P_0 - R); \\ P(0) = P_0, \end{cases} \quad (1)$$

где R – концентрация полимерных радикалов; k_1 – константа скорости деструкции полимерной

матрицы $(\text{кГр})^{-1}$; P – массовая концентрация полимера; θ – доза облучения (кГр) .

Решение уравнения (1) имеет вид

$$P(\theta) = P_0(1 - e^{-k_1\theta}). \quad (2)$$

Вязкость по Муни полимерной композиции связана с массовой концентрацией радикалов следующим выражением:

$$M_h(\theta) = M_h(0) e^{-\frac{\alpha}{\beta+1} R(\theta)}, \quad (3)$$

где $M_h(\theta)$ – средневязкостная молекулярная масса полимера при дозе облучения θ ; β – константа Марка–Куна–Хаувинка; α – константа.

Полученная зависимость (3) вместе с уравнением (2) представляет собой математическую модель динамики изменения вязкости по Муни в процессе ионизационного облучения полимер

ной композиции. Параметрическая идентификация модели осуществлена с использованием генетического алгоритма.

Библиографический список

1. Исследование и моделирование процесса деформации полимера в массе / С. Г. Тихомиров, С. Л. Подвальный, А. А. Хвостов, О. В. Карманова, В. К. Битюков // Теоретические основы химической технологии. 2018. Т. 52, № 6. С. 83 – 92.

References

1. Issledovaniyei modelirovaniye protsessa deformatsii polimera v masse / S. G. Tikhomirov, S. L. Podvalny, A. A. Khvostov, O. V. Karmanova, V. K. Bityukov // Teoreticheskiye osnovy khimicheskoy tekhnologii. 2018. V. 52, № 6. P. 83 – 92.

УДК 621.3.049, 621.95.01

Зве Маунг Маунг, e-mail: zwemaungmaung@gmail.com
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт», Москва, Россия)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВЕРШИНЫ СВЕРЛА ПРИ СВЕРЛЕНИИ ОТВЕРСТИЙ В ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ

Аннотация. Определены источники тепла, влияющие на изменение теплового поля при сверлении печатных плат. Определены уравнение теплового баланса и уравнение теплопроводности при резании стеклопластиков. Вычислены уравнения температуры вершины сверла для процессов нагрева и охлаждения при сверлении отверстий в композиционных материалах.

Ключевые слова: сверление, печатная плата, сверло, температура вершины сверла, теплопроводность, тепловой баланс.

Zwe Maung Maung
(Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia)

DETERMINATION OF THE DRILL TIP TEMPERATURE WHEN DRILLING HOLES IN PRINTED CIRCUIT BOARDS

Abstract. The article defines the heat sources that affect the change in the thermal field when drilling printed circuit boards. The equation of thermal balance and the equation of thermal conductivity at cutting of fibreglass are defined. The equations of the drill point temperature for heating and cooling processes in drilling holes in composite materials are calculated.

Index terms: drilling, circuit Board, drill, drill tip temperature, thermal conductivity, heat balance.

Источники тепла при сверлении печатных плат. Работа при резании складывается из работ, затрачиваемых на пластическую дефор-

мацию $A_{пл}$, на упругую деформацию $A_{упр}$, на трение по передней и задней поверхностям $A_{тр}$ и на диспергирование $A_{дис}$.

Общая работа резания может быть представлена выражением [1]:

$$A = A_{пл} + A_{упр} + A_{тр} + A_{дис}.$$

Основная работа при резании стеклопластиков состоит из работы трения по задней поверхности инструмента, которая может быть определена выражением

$$A_{зп} = \mu N v \tau,$$

где μ – коэффициент трения; v – окружная скорость сверла (скорость резания) в точке приложения силы N ; τ – время; N – сила, направленная по нормали к задней поверхности.

Тепловой баланс процесса резания в общем случае определяется соотношением [2]

$$Q_d = Q_{п.п} + Q_{з.п} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4,$$

где Q_d – количество тепла, выделяющегося при пластической деформации; $Q_{п.п}$ – количество тепла, выделяющегося при трении стружки по передней поверхности инструмента; $Q_{з.п}$ – количество тепла, выделяющегося за счет трения по задней поверхности инструмента; Q_1 – количество тепла, переходящее в стружку; Q_2 – количество тепла, переходящего в заготовку; Q_3 – количество тепла, переходящего в инструмент; Q_4 – количество тепла, переходящего в окружающую среду.

Рассмотрим

$$Q_1 \cong 0, \quad Q_2 \cong 0, \quad Q_{з.п} = Q_3 + Q_4 = \mu N v \tau.$$

Уравнение теплопроводности [3]

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + b[T - T_c],$$

где a – коэффициент температуропроводности; b – коэффициент теплообмена со средой; T – температура сверла; T_c – температура среды; x – координата, отсчитываемая от вершины сверла.

Решение этого уравнения операторным или классическим методами для вершины сверла с учетом специфики процесса сверления имеет вид:

– температура вершины сверла для процесса нагревания,

$$T(0, \tau) = \frac{1,1284 \mu N v}{\lambda S_0} \sqrt{a \tau} + T_0; \quad (1)$$

– температура вершины сверла для процесса охлаждения

$$T(0, \tau) = \frac{c}{\sqrt{\pi}} e^{-b\tau} \left(1 + \frac{\tau}{2\tau_n} \right) + T_c, \quad c = \frac{2\mu N v}{\lambda S_0} \sqrt{a \tau_n}, \quad (2)$$

где τ_n – время нагревания, т.е. время сверления одного отверстия.

Выводы

1. Исследованы источники тепла, возникающие при сверлении монтажных и переходных отверстий.

2. Сформировано уравнение теплопроводности для расчета тепловых полей при сверлении композитных материалов мелкокоразмерными сверлами.

3. Получено соотношение (1), определяющее изменение по времени температуры вершины сверла в ходе резания с учетом режимов и параметров процесса.

4. Получено соотношение (2), определяющее изменение температуры при переходе инструмента от предыдущего отверстия к последующему (остывание сверла), учитывающее, в том числе, время сверления предыдущего отверстия (нагревание сверла).

Библиографический список

1. Кривоухов В. А. Обработка металла резанием. М.: Машиностроение, 1970.
2. Лыков Н. В. Теория теплопроводности. М.: Высш. шк., 1967.

References

1. Krivogov V. A. Metal cutting processing. M.: Mashinostroyeniye, 1970.
3. Lykov N. B. The theory of thermal conductivity. M.: Higher school, 1967.

УДК 616-079.5+535

М. А. Филина, аспирант каф. промышленной химии и биотехнологии,
Е. А. Кузнецова, зав. каф. промышленной химии и биотехнологии,
Е. В. Потапова, канд. техн. наук, доц. каф. «Приборостроение, метрология и сертификация»
(ФГБОУ ВО «ОГУ имени И. С. Тургенева», Орел, Россия, e-mail: marya.filina-2015@yandex.ru)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЛАЗЕРНОЙ ДОППЛЕРОВСКОЙ ФЛОУМЕТРИИ В КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ ДЕРМАТОЛОГА ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНОГО РУСЛА ПРИ ПСОРИАЗЕ

Аннотация. Исследованы микрогемодинамические показатели микроциркуляторного русла при псориазе методом лазерной доплеровской флоуметрии, проведен анализ показателей в динамике.

Ключевые слова: микроциркуляторное русло, псориаз, лазерная доплеровская флоуметрия.

M. A. Filina, E. A. Kuznetsova, E. V. Potapova
(Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia)

THE USE OF LASER DOPPLER FLOWMETRY METHOD IN CLINICAL PRACTICE OF A DERMATOLOGIST FOR DYNAMIC ASSESSMENT OF THE STATE OF MICROCIRCULATORY BED IN PSORIASIS

Abstract. The hemodynamic parameters of the microcirculatory bed in psoriasis were studied by the laser Doppler flowmetry method, the analysis of the indices in dynamics was carried out.

Index terms: microcirculatory bed, psoriasis, laser Doppler flowmetry.

Согласно данным статистики, псориаз встречается у 2...3 % населения земного шара [1, 2], ассоциируется с многочисленными сопутствующими заболеваниями, включая ревматологические и сердечно-сосудистые осложнения.

Одной из основных патологий псориаза является нарушение микроциркуляторного русла, в частности, при псориазе характерно удлинение, расширение и разветвление капиллярной сетки, утолщение стенок капилляров. В связи с этим чрезвычайную актуальность своевременного выявления заболевания на ранней стадии доклинического течения заболевания определяют патологические изменения, протекающие в микроциркуляторном русле псориатических бляшек.

Целью настоящего исследования являются оценка и анализ микрогемодинамических показателей микроциркуляторного русла в динамике в области псориатической бляшки и невовлеченной коже верхних конечностей у пациентов с псориазом.

Для достижения поставленной цели экспериментальные исследования проводились с использованием канала лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) лазерного диагностического

комплекса ЛАКК-М (ООО НПП «ЛАЗМА», г. Москва). В исследовании приняли участие 10 пациентов с диагнозом распространенный псориаз в стационарной стадии в возрасте 47 ± 15 лет. Каждое исследование было проведено в динамике (запись проводилась 3 раза на каждом пациенте с интервалом два дня) и включало в себя запись сигналов ЛДФ в фоновом режиме в течение 10 мин. Оптоволоконный зонд был установлен на внутренней стороне предплечья – в центре псориатической бляшки и на расстоянии 1...2 см от нее – в зоне интактной ткани.

Анализу подвергались данные пациентов, которые только поступили на стационарное лечение. Процесс лечения включал в себя лекарственную терапию, заключающуюся во внутривенном и (или) внутримышечном введении растворов глюконата кальция, тиосульфата натрия и витаминов группы В, в пероральном приеме препаратов линолевой и фолиевой кислоты, цитрина, а также в применении криомассажа, дарсенваля в областях псориатического поражения. При анализе полученных экспериментальных данных было выявлено, что в зоне псориатиче-

ской бляшки относительно зоны интакта в начале лечения у пациентов наблюдается доминирование миогенных осцилляций, что свидетельствует об усилении капиллярного кровотока и подтверждается увеличением значений показателя микроциркуляции в зоне поражения ($11,6 \pm 5,7$ пф. ед.), относительно области невовлеченной кожи ($6,6 \pm 3,2$ пф. ед.). В завершении процесса лечения наблюдается тенденция к уменьшению показателя микроциркуляции в области псориатической бляшки, а также значительное снижение амплитуд миогенных колебаний ($0,3 \pm 0,1$ пф. ед.) по сравнению с этим показателем в начале лечения ($0,5 \pm 0,2$ пф. ед.), что свидетельствует о снижении уровня капиллярного кровотока. Возможно это объясняется улучше-

нием состояния микрогемодикуляторного русла в области поражения при уменьшении воспалительной реакции в дерме под действием медикаментозного лечения. Таким образом, метод ЛДФ может быть использован для оценки эффективности проводимой терапии у больных псориазом.

Библиографический список

1. Greb J. E., Goldminz A. M., Elder J. T. et al. Psoriasis. Nat Rev Dis Primers. 2016; 2:16082. DOI: 10.1038/nrdp.2016.82.
2. Peculiarities of local blood microcirculation in patients with psoriasis / M. A. Filina, V. V. Dremine, E. V. Zharkikh, I. O. Kozlov, E. A. Zhrebtsov, E. V. Potapova, N. S. Malaya, N. Y. Yakushkina, I. A. Snimshchikova, A. V. Dunaev // Proc. SPIE 10685, 2018, 1068532.

УДК 616-079.5+535-92

В. В. Шуплецов, студент каф. «Приборостроение, метрология и сертификация», e-mail: matoka_97@mail.ru,
М. А. Мезенцев, студент каф. «Приборостроение, метрология и сертификация», e-mail: mezentseff.mihail@yandex.ru,
И. О. Козлов, аспирант каф. «Приборостроение, метрология и сертификация», e-mail: igor57_orel@mail.ru,
В. В. Дремин, канд. техн. наук, науч. сотр. научно-технологического центра биомедицинской фотоники,
e-mail: dremine_viktor@mail.ru
(ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева», Орел, Россия)

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ КРОВЕНАПОЛНЕНИЯ И САТУРАЦИИ МЕТОДОМ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Аннотация. Продemonстрирована возможность использования метода гиперспектральной визуализации для оценки кровенаполнения и сатурации тканей. Исследовано изменение этих параметров при артериальной окклюзионной пробе в состоянии искусственной ишемии и в последующей стадии гиперемии.

Ключевые слова: гиперспектральная визуализация, гиперспектральный куб, окклюзионная проба.

V. V. Shupletsov, M. A. Mezentsev, I. O. Kozlov, V. V. Dremine
(Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia)

ASSESSMENT OF BLOOD CONTENT AND SATURATION CHANGES USING THE HYPERSPECTRAL IMAGING METHOD

Abstract. The possibility of using the method of hyper spectral imaging to evaluate blood content and tissue saturation has been demonstrated. The changes in these parameters under the influence of arterial occlusion test in the state of artificial ischemia and subsequent hyperemia were studied.

Index terms: hyperspectral imaging, hyperspectral cube, occlusion test.

Метод гиперспектральной визуализации позволяет проводить двумерное картирование хромофоров (гемоглобин, билирубин и др.) и флуорофоров (NADH, FAD, коллаген), оценивать динамику карт кислородного насыщения тканей, определять патологический статус тка-

ней путем регистрации трехмерного массива данных (гиперспектрального куба) [1, 2].

Целью данной работы является анализ изменения кровенаполнения и сатурации в области фаланг пальцев правой руки при проведении артериального окклюзионного теста.

Для достижения поставленной цели гиперспектральные изображения были получены с помощью экспериментальной установки на основе перестраиваемого полосового фильтра Kurios-VB1 и CMOS камеры DCC3260C. В качестве источника света использовался стабилизированный излучатель SLS201L/M с рабочим диапазоном от 360 до 2600 нм. Исследование заключалось в получении гиперспектральных изображений области фаланг пальцев руки со стороны ладонной поверхности до, во время и после проведения артериальной окклюзионной пробы (давление в манжете – 220 мм рт. ст.). Камера с фильтром располагалась сверху, перпендикулярно руке. Меняя длины волн с помощью перестраиваемого фильтра с шагом в 5 нм в пределах от 525 до 705 нм, был получен массив, состоящий из 36 изображений, который загружался в программную среду

MATLAB, образуя гиперспектральный куб. Кровенаполнение и сатурация рассчитывались предварительно обученной нейросетью в каждой точке, присваивая ей определенный псевдоцвет.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что метод гиперспектральной визуализации для оценки свойств биологического объекта, в частности для определения кровенаполнения тканей и сатурации, является высокоинформативным методом оптической визуализации.

Библиографический список

1. Boas D. A., Pitris C., Ramanujam N. (ed.). Handbook of biomedical optics. CRC press, 2016.
2. Lu G., Fei B. Medical hyperspectral imaging: a review // Journal of biomedical optics. 2014. V. 19, № 1. P. 010901.

УДК 612.135:615.47

Ю. И. Локтионова, студент каф. «Приборостроение, метрология и сертификация», e-mail: julya-loktionova@mail.ru,
Е. В. Жарких, студент каф. «Приборостроение, метрология и сертификация», e-mail: ev.zharkikh@gmail.com,
А. И. Жеребцова, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. научно-технологического центра биомедицинской фотоники,
e-mail: angelina.zherebtsova@yandex.ru,
А. В. Дунаев, канд. техн. наук, доц., директор научно-технологического центра биомедицинской фотоники,
e-mail: inohvat@yandex.ru
(ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева», Орел, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЕМОМИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КОНЕЧНОСТЕЙ ПРИ АСИММЕТРИЧНОЙ ОККЛЮЗИОННОЙ ПРОБЕ

Аннотация. Проведено исследование регистрируемых с помощью метода лазерной доплеровской флоуметрии показателей гемомикроциркуляции конечностей при проведении асимметричной окклюзионной пробы на условно здоровых волонтерах.

Ключевые слова: микроциркуляция крови, лазерная доплеровская флоуметрия, окклюзионная проба.

Y. I. Loktionova, E. V. Zharkikh, A. I. Zherebtsova, A. V. Dunaev
(Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia)

THE STUDY OF THE BLOOD MICROCIRCULATION PARAMETERS IN LIMBS UNDER THE ASYMMETRIC OCCLUSION TEST

Abstract. Using the method of laser Doppler flowmetry the blood microcirculation parameters of limbs were studied under the asymmetric occlusion test on healthy volunteers.

Index terms: blood microcirculation, laser Doppler flowmetry, occlusion test.

Для оценки состояния микроциркуляторно-тканевых систем в настоящее время применяются различные оптические неинвазивные техно-

логии [1]. Одним из таких методов является лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ). ЛДФ позволяет оценивать не только уровень кровото-

ка, но и колебательные процессы в микрососудах, следовательно, получать важную диагностическую информацию о соответствующих подсистемах сосудистой регуляции. Выделяют несколько частотных диапазонов колебаний кровотока: эндотелиальный (0,0095...0,02 Гц), нейрогенный (0,02...0,05 Гц), миогенный (0,05...0,15 Гц), дыхательный (0,2...0,45 Гц) и сердечный (0,45...1,6 Гц) [2]. В настоящее время наблюдается недостаток экспериментальных данных по оценке процессов компенсации и регуляции кровотока с одновременной регистрацией параметров на разных участках тела, в том числе при различных функциональных пробах. Целью настоящей работы явилось исследование изменений параметров микроциркуляции крови в предплечьях и пальцах рук при проведении асимметричной окклюзионной пробы.

Для проведения экспериментальных исследований применяли систему портативных анализаторов, состоящую из четырех устройств «ЛАЗМА-ПФ» (ООО НПП «ЛАЗМА», г. Москва, Россия), реализующих идентичные каналы измерения ЛДФ. В исследовании принял участие 21 условно здоровый доброволец (средний возраст $21,2 \pm 2,5$ года). Исследование проводилось в положении сидя, анализаторы фиксировались на тыльной стороне предплечий в области запястья и на волярной поверхности третьих пальцев рук. Окклюзию правой руки осуществляли с помощью манжеты механического тонометра. Каждое исследование включало три этапа: базовый тест в течение 5 мин, окклюзионная проба – 3 мин, регистрация восстановления кровотока после снятия окклюзии – 7 мин.

В каждой из зарегистрированных ЛДФ-грамм выделялись фрагменты до и после окклюзионной пробы, которые подвергались адаптивному вейвлет-анализу с помощью специализированной программы LDF 3.0.2.384. Для выделенных фрагментов оценивалось также среднее значение показателя микроциркуляции крови (Im) и определялись значения нормированных ампли-

туд колебаний кожного кровотока для пяти основных частотных диапазонов.

По результатам проведенных исследований было выявлено различие между показателями амплитуд колебаний в постокклюзионном периоде в правом и левом предплечьях. В правом предплечье после снятия окклюзии наблюдался рост показателя микроциркуляции и амплитуд колебаний миогенного диапазона, что объясняется снижением периферического сопротивления и увеличением нутритивного кровотока. В то же время амплитуды колебаний других диапазонов значительно снизились. В контралатеральной конечности не было выявлено статистически значимых различий исследуемых параметров до и после окклюзионной пробы.

Таким образом, в настоящей работе экспериментально исследовано изменение параметров гемомикроциркуляции при проведении асимметричной окклюзионной пробы. Полученные данные могут быть использованы для изучения адаптационных возможностей системы микроциркуляции крови. Дальнейшие исследования с привлечением пациентов с микроциркуляторными нарушениями позволят сформулировать диагностические критерии для оценки функционального состояния микроциркуляторного русла при конкретных патологиях.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-3400.2018.8.

Библиографический список

1. **Daly S., Leahy M.** Go with the flow: review of methods and advancements in blood flow imaging // *Journal of Biophotonics*. 2013. V. 6. P. 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.

УДК 616-079.5+535-92

М. А. Мезенцев, студент каф. «Приборостроение, метрология и сертификация»,
e-mail: mezentseff.mihail@yandex.ru,

В. В. Шуплецов, студент каф. «Приборостроение, метрология и сертификация»,
e-mail: matoka_97@mail.ru,

Е. В. Потапова, доц. каф. «Приборостроение, метрология и сертификация»
e-mail: elenasweet2007@gmail.com

(ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева», Орел, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ КОЖНОЙ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ДАВЛЕНИИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ДОППЛЕРОВСКОЙ ФЛОУМЕТРИИ

Аннотация. Исследовано влияние локального нагружения на показатели микрогемодициркуляции. Изучено перераспределение осцилляций кровотока на разных этапах исследования.

Ключевые слова: микроциркуляция, лазерная доплеровская флоуметрия, локальное давление.

М. А. Mezentsev, V. V. Shupletsov, E. V. Potapova
(Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia)

STUDY OF THE FEATURES OF SKIN MICROCIRCULATION UNDER LOCAL PRESSURE USING THE LASER DOPPLER FLOWMETRY

Abstract. The effect of local loading on the parameters of microhemocirculation is studied. Redistribution of blood flow oscillations at different stages of the study was studied.

Index terms: microcirculation, laser Doppler flowmetry, local pressure.

Выявление микроциркуляторных нарушений на доклинической стадии является важной задачей современной медицины [1]. Метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), при котором реализуется неинвазивное зондирование биоткани лазерным излучением и регистрация рассеянного света, позволяет объективно оценить функциональное состояние микрососудистого русла [2]. Реактивность микроциркуляторного русла является важным диагностическим параметром, характеризующим работу механизмов регуляции кровотока кожи [3].

Целью данной работы была оценка влияния локального давления, оказываемого на кожу, на сигнал лазерной доплеровской флоуметрии. Исследования проводили на верхней конечности у условно здоровых добровольцев при ступенчатом изменении локального давления.

В исследовании приняли участие шесть добровольцев (трое мужчин и три женщины).

Средний возраст испытуемых составляет 20 ± 2 лет. Измерения проводились с помощью комплекса ЛАКК-02 (ООО НПП «ЛАЗМА», г. Москва, Россия) и специально спроектированной оснастки.

Предложенный протокол исследования позволил оценить параметры микроциркуляторного русла в базовом состоянии, при четырех различных уровнях локального давления с помощью грузов, отличающихся по массе, а также после снятия нагрузки, каждый этап исследования длился 10 мин. Показано влияние давления на значения перфузии: во время базового теста средние показатели перфузионного кровотока составляют $Im = 21,77 \pm 3,86$ пф. ед., при максимальном локальном давлении 26,8 кПа показатели значительно уменьшаются и достигают минимума $Im = 6,27 \pm 2,45$ пф. ед. Обработка полученных данных показала, что реакция сосудов микроциркуляторного русла на локальное кожное давление отличается выраженной индивидуальностью.

Библиографический список

1. Дунаев А. В., Дремин В. В., Жеребцов Е. А. и др. Анализ индивидуальной variability параметров в лазерной флуоресцентной диагностике // Биотехносфера. 2013. Т. 26, № 2.
2. Козлов В. И., Азизов Г. А., Гурова О. А., Литвин Ф. Б. М. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови. М.: Изд-во РУДН, 2012.
3. Крупаткин А. И., Сидоров В. В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: колебания, информация, нелинейность: руководство для врачей. М.: ЛИБРОКОМ, 2013.

References

1. Dunaev A. V., Dremine V. V., Zherebcov E. A. i dr. Analiz individual'noj variabel'nosti parametrov v lazernoj fluorescentnoj diagnostike // Biotekhnosfera. 2013. V. 26, № 2.
2. Kozlov V. I., Azizov G. A., Gurova O. A., Litvin F. B. M. Lazernaya dopplerovskaya floumetriya v ocenke sostoyaniya i rasstrojstv mikrocirkulyacii krovi. M.: Izd-vo RUDN, 2012.
3. Krupatkin A. I., Sidorov V. V. Funkcional'naya diagnostika sostoyaniya mikrocirkulyatorno-tkanevyh sistem: kolebaniya, informaciya, nelinejnost': rukovodstvo dlya vrachej. M.: LIBROKOM, 2013.

УДК 612.135:615.47

Е. В. Хряпинский, аспирант каф. «Приборостроение, метрология и сертификация»,
e-mail: hryapinskij@yandex.ru,
К. В. Подмастерьев, д-р техн. наук, проф., дир. Института приборостроения, автоматизации и
информационных технологий, e-mail: asms-orel@mail.ru,
М. В. Яковенко, канд. техн. наук, доц. каф. «Приборостроение, метрология и сертификация»,
e-mail: lenolium@yandex.ru
(ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева», Орел, Россия)

ПРОВЕРОЧНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕКТИВНОЙ РЕАКЦИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА НА АРОМАТИЧЕСКИЙ РАЗДРАЖИТЕЛЬ

Аннотация. Исследована объективная реакция головного мозга человека на предъявляемый ароматический раздражитель различной концентрации с помощью метода электроэнцефалографии.

Ключевые слова: оповещение по обонятельному каналу, электроэнцефалография, объективная реакция головного мозга.

E. V. Khryapinsky, K. V. Podmasteriev, M. V. Yakovenko
(Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia)

CASE STUDY OF OBJECTIVE REACTION OF THE BRAIN TO AROMATIC DISSATISFIER

Abstract. In this work, the objective reaction of the human brain to the required aromatic stimulus of various concentrations was studied using the method of electroencephalography.

Index terms: notification on the olfactory channel, electroencephalography, objective brain reaction.

В целях разработки и внедрения альтернативного способа оповещения при возникновении нештатных и чрезвычайных ситуаций в работе [1] предложено использовать обонятельный канал сенсорной системы человека. Настоящая работа посвящена оценочному экспериментально-

му подтверждению возможности и эффективности такого способа оповещения.

Для проведения исследований необходим канал обратной связи, который заключается в установлении отклика человека на воздействие по обонятельному каналу. В качестве такого ка-

нала в работе используется метод электроэнцефалографии, правомерность такого выбора подтверждается в работе [2].

В исследовании приняла участие группа людей разного пола и возраста в количестве пяти человек. Вначале испытуемые были обучены запаху и индивидуально определены подпороговая, пороговая и сверхпороговая концентрации восприятия ароматического раздражителя по стандартной методике 10 разведений. В качестве ароматического раздражителя применялась уксусная кислота. Во время проведения исследования участники эксперимента находились в положении сидя в условиях темноты.

Каждому испытуемому через установленный интервал времени предъявлялись три концентрации по нарастанию, записывая при этом электроэнцефалограмму (ЭЭГ) головного мозга монополярным методом, с размещением электродов согласно международной системе «10 – 20» использовался электроэнцефалограф-анализатор ЭЭГА-21/26-«Энцефалан-131-03», версия – элитный). Для исключения ошибок, повышения достоверности и выявления системности исследования с каждым испытуемым опыт повторяли 3 раза в разные дни. Каждая электроэнцефалограмма разложена в абсолютный спектр мощности с помощью внутренних функций программного обеспечения Medicom MTD. Анализ абсолютного спектра мощности производили в дельта-, альфа-, тета- и бета-ритмах, по трем равным по времени отрезкам: до, во время и после предъявления ароматического раздражителя по каждой концентрации.

В результате проведения проверочного исследования установлены объективная и систематическая реакции головного мозга на предъявление ароматического раздражителя, а также наличие остаточной реакции (возбуждение ритмов ЭЭГ) после удаления ароматического раздражителя в пороговой и сверхпороговой концентрациях. Наиболее ярко выраженная реакция отмечается в тета-ритме, который отвечает за активацию внимания и активируется вместе с ориенти-

ровочным рефлексом, и дельта-ритме, наиболее выраженном в той же части мозга, которая отвечает за восприятия запахов, а именно височные доли.

Таким образом, по результатам оценочных исследований выявлена систематическая ответная реакция головного мозга в ритмах возбуждения/торможения, «внимания», проявляющаяся синхронно в различных отведениях. Полученный результат подтверждает принципиальную возможность разработки альтернативного способа оповещения при возникновении нештатных и чрезвычайных ситуаций и указывает на необходимость проведения дальнейших исследований по обоснованию режимов, условий и критериев разрабатываемого метода

Библиографический список

1. Хряпинский Е. В., Яковенко М. В., Подмастерьев К. В. Проблемы оповещения людей в условиях чрезвычайных ситуаций // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сб. тр. XXVI Междунар. науч.-техн. конф., 14 – 20 сентября 2017 г., Алушта. М.: ИД «МЕДПРАКТИКА-м», 2017. С. 200.
2. Булатова О. В., Трасковский В. В., Литвинова Н. А. ЭЭГ – реакции девушек с разной запаховой чувствительностью на подпороговые, пороговые и сверхпороговые концентрации бутанола // Вестник Кемеровского государственного университета. Кемерово, 2013. Т. 1, № 2(54).

References

1. Khryapinsky E. V., Yakovenko M. V., Podmasterev K. V. Problems alert people in emergency situations // Modern technologies in problems of control, automation and information processing: proceedings of the XXVI International scientific-technical conference, 14 – 20 September 2017, Alushta. M.: Publishing house «MEDPRAKTIKA-m», 2017. P. 200.
2. Bulatova, O. V., Traskovskiy V. V., Litvinova N. A. EEG-reactions of girls with different odor sensitivity to subthreshold, threshold and superthreshold concentrations of butanol // Bulletin of the Kemerovo State University. Kemerovo, 2013. V. 1, № 2(54).

УДК 622.86:778.35

Л. Д. Певзнер (ФГБОУ ВО «Российский технологический университет – МИРЭА», Москва, Россия);
М. Л. Ким (АО «Сибирская угольная энергетическая компания «СУЭК», Москва, Россия);
Д. С. Полуэктов (ФГБОУ ВО «Российский технологический университет – МИРЭА», Москва, Россия)
e-mail: lpevzner@msmu.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В УСЛОВИЯХ ПОДЗЕМНЫХ ШАХТНЫХ ВЫРАБОТОК

Аннотация. Приведены результаты моделирования движения автономного беспилотного летательного аппарата, который предполагается использовать для решения задач разведки поставарийного состояния шахтной выработки.

Ключевые слова: квадрокоптер, модель движения, шахтная выработка, авария.

L. D. Pevzner (Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education «Russian Technological University – MIREA», Moscow, Russia);
M. L. Kim (AO «Siberian Coal Energy Company «SUEK», Moscow, Russia);
D. S. Poluektov (Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education «Russian Technological University – MIREA», Moscow, Russia)

SIMULATION OF THE MOTION OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE IN CONDITIONS OF UNDERGROUND MINE WORKINGS

Abstract. The results of the simulation of the motion of an autonomous unmanned aerial vehicle, which is intended to be used to solve the tasks of reconnaissance of the post-emergency state of mine workings, are presented.

Index terms: quadcopter, model of motion, mine workings, accident.

В угольных шахтах возможны аварии – взрывы, обрушения, внезапные выбросы горных пород, газа, пожары от самовозгорания горной массы.

Для ликвидации аварий и спасения людей используется служба ВГСЧ – горно-спасательные части. Во время ликвидации аварий случаются ситуации, когда ВГСЧ в силу внешних условий – отсутствия видимости или высокой температуры не могут продвинуться по выработке для выполнения мероприятий плана ликвидации аварии по локализации аварии и спасению людей. В такой ситуации для сохранения жизни сотрудников ВГСЧ, выполняя за них разведки рудничной обстановки, предлагается применить беспилотные летательные аппараты.

Настоящие исследования направлены на получение оценки влияния рудничной атмосферы и воздушных потоков на полетные характеристики беспилотного летательного аппарата (БПЛА), выработки требований к навигационному оборудованию для бесперебойной работы в шахтных условиях. Исследования ставят своей целью получить ответы на вопросы: какими средствами должен быть оснащен БПЛА, каковы должны быть его технические характеристики и каковы должны быть средства управления его движением.

В качестве БПЛА принят квадрокоптер, его математическая модель движения рассматривалась в двух системах координат: в неподвижной – левой инерционной в осях $\{x, y, z\}$ и в подвижной системе координат {угол крена, угол тангажа, угол рыскания}. Модель строилась в предположении, что квадрокоптер симметричен; несущая часть аппарата является твердым телом, двигатели располагаются на конце стержня; воздействие потока воздуха в выработке учитывается как внешнее возмущение; экранирующее воздействие поверхности земли на движение квадрокоптера отсутствует.

Система автоматического управления движением по траектории строилась как двухканальная следящая система, в которой один канал – подсистема управления высотой в вертикальной плоскости и второй – подсистема управления траекторным движением в горизонтальной плоскости. Целевое назначение подсистемы траекторного движения – быть системой слежения таким образом, чтобы центр масс летательного аппарата не удалялся от расчетной траектории движения дальше допустимого.

Работоспособность разработанного алгоритма проверялась моделированием программ-

ными средствами реакций на ступенчатые воздействия и полета по заданным траекториям. Траектории задания – кусочно-прямолинейные в одной плоскости, но под разными углами.

Моделирование процессов движения квадрокоптера осуществлялось при отсутствии и наличии внешнего возмущения от шахтных воздушных потоков.

Результаты модельных исследований: реакции модели на ступенчатое воздействие по углам крена и рыскания оказались аperiodическими с временем регулирования 1,2 с и 0,9 с соответственно, угол тангажа отрабатывается с 10%-ным перерегулированием и с временем регулирования 0,9 с.

Реакция модели на ступенчатое воздействие по координате z – высоте является аperiodическим с временем регулирования 0,6 с, однако реакция на ступенчатое воздействие по горизонтальным координатам x, y имеет выраженную секундную задержку и слабую колебательность.

Результаты модельных исследований подтвердили возможность использования БПЛА для целей разведки в шахтных условиях.

Библиографический список

1. Певзнер Л. Д., Ким М. Л. Робототехнические средства и системы для решения задач ликвидации аварий в шахтах // Горный информационный аналитический бюллетень «ГИАБ». Информатизация и управление. 2016. № 1.

2. Ким М. Л., Певзнер Л. Д. и др. О возможности использования мобильных робототехнических летательных аппаратов при выполнении оперативного плана ликвидации аварии на шахтах // Уголь. 2018. № 1. С. 56 – 60.

References

1. Pevzner L. D., Kim M. L. Robotic tools and systems for solving problems of liquidation of accidents in the mines // Mining information and analytical Bulletin «MIN-ING». Informatization and management. 2016. № 1.

2. Kim M. L., Pevzner L. D. et al. Possibility of using robotic flying systems for solving accident liquidation operating plan in the mine // Ugol'. 2018. № 1. P. 56 – 60.

УДК 51-76

В. В. Александров, д-р физ.-мат. наук, проф., зав. каф.,
Д. И. Бугров, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.,
А. В. Миронова, магистрант
(Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия,
e-mail: d.bugrov@ mech.math.msu.ru)

ОЦЕНКА ДЛИТЕЛЬНОСТИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ В МОДЕЛИ ВОЗБУЖДЕНИЯ АКТИВНОСТИ АФФЕРЕНТНОГО ПЕРВИЧНОГО НЕЙРОНА

Аннотация. Рассмотрена бистабильная модель возбуждения активности афферентного первичного нейрона. Найдены длительности управляющего воздействия (гальванической стимуляции), обеспечивающие переход из стационарного в возбужденное состояние нейрона для различных законов формирования стимуляции.

Ключевые слова: бистабильная система, активность первичного нейрона, гальваническая стимуляция.

V. V. Aleksandrov, D. I. Bugrov, A. V. Mironova
(Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia)

ESTIMATION OF GALVANIC STIMULATION DURATION IN THE MODEL FOR AFFERENT PRIMARY NEURON ACTIVITY EXCITATION

Abstract. Bistable system for afferent primary neuron activity excitation is under consideration. Acting (galvanic stimulation) time for some control laws guaranteeing a shift from stationary to excited neuron condition is calculated.

Index terms: bilinear system, primary neuron activity, galvanic stimulation.

Рассмотрена нелинейная модель активности афферентного первичного нейрона, представляющая собой модификацию уравнений Ходжкина–Хаксли [1]. Известно, что при некоторых постоянных значениях синаптического тока и отсутствии

гальванической стимуляции данная модель является бистабильной и имеет два устойчивых состояния – стационарное (соответствующее невозбужденному состоянию нейрона) и периодическое движение (возбужденное состояние). За счет фор-

мирования стимулирующего воздействия в виде периодического сигнала с заданными частотой и амплитудой появляется возможность перевести нейрон из невозбужденного состояния в возбужденное.

Для заданных постоянных значений синаптического тока и амплитуды стимулирующего сигнала при известных параметрах модели нейрона [1] проводилось численное моделирование. На первом этапе определялись собственные частоты линеаризованной в окрестности стационарного положения системы. Эти частоты предлагалось использовать при формировании законов гальванической стимуляции – непрерывного синусоидального и «оптимального» в виде периодической кусочно-постоянной функции (ПКПФ).

На втором этапе исследования определялось необходимое время действия стимулирующего сигнала, после которого нейрон переходит из невозбужденного состояния в возбужденное и остается в этом состоянии и после снятия стимулирующего сигнала. Изучались описанные выше законы формирования сигнала с частотами,

меньшими собственной частоты линеаризованной системы. Было установлено, что для выбранных параметров модели с уменьшением частоты стимулирующего сигнала требуемое время стимуляции возрастает, причем для закона в виде ПКПФ это время начиная с некоторой частоты остается постоянным.

Работа проведена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-01-00683).

Библиографический список

1. Садовничий В. А. и др. Математическое моделирование коррекции выходного сигнала с гравитоинерциального механорецептора вестибулярного аппарата // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 1. Матем. Мех. 2013. № 5. С. 54 – 59.

References

1. Sadovnichii V. A. et al. Mathematical simulation of correction of output signals from the gravito-inertial mechanoreceptor of a vestibular apparatus // Moscow Univ. Mech. Bull. 2013. № 5. P. 54 – 59.

УДК 531.1:62-50

Д. И. Бугров, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.,
e-mail: d.bugrov@mech.math.msu.su,

А. М. Формальский, д-р физ.-мат. наук, проф., гл. науч. сотр.,
e-mail: formal@imec.msu.ru

(ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», Москва, Россия)

ГРАНИЦЫ ОБЛАСТЕЙ ДОСТИЖИМОСТИ ЛИНЕЙНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ

Аннотация. Рассмотрена линейная стационарная система третьего порядка с одним управлением, изучено поведение границ областей достижимости с ростом времени для двух случаев. В первом случае управление является ограниченной по абсолютной величине кусочно-непрерывной функцией. Во втором случае управление принадлежит классу кусочно-непрерывных функций, дополненному множеством обобщенных дельта-функций Дирака, ограничен импульс управляющего воздействия.

Ключевые слова: линейная стационарная управляемая система, область достижимости, собственное значение, коническая угловая точка.

D. I. Bugrov, A. M. Formalskii
(Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia)

BOUNDARIES OF ATTAINABILITY DOMAINS FOR LINEAR STEADY SYSTEMS

Abstract. We consider linear steady system of third order with one controlling action. Variation of the boundary of the attainability region as time increases investigated for two cases. At first case a control is contained in the set of piecewise continuous functions bounded in absolute magnitude. At the second case a control is contained in the set of piecewise continuous functions coupled with Dirac generalized delta functions, the impulse of the control is bounded.

Index terms: linear controlled steady system, attainability domain, eigenvalue, conical corner point.

В докладе рассматривается линейная стационарная система третьего порядка с одним управлением, изучается изменение границ об-

ластей достижимости с ростом времени для двух случаев. В первом случае управление является ограниченной по абсолютной величине кусочно-

непрерывной функцией. Показано, что если матрица системы имеет одно действительное и два комплексно-сопряженных собственных значения, то изменение формы границы области достижимости с ростом времени зависит от разности между действительными значениями собственных чисел [1]. Если указанная выше разность отрицательна, т.е. действительное собственное значение меньше действительной части комплексно-сопряженных, то конические угловые точки области достижимости с ростом времени становятся менее «заостренными» и «исчезают» при стремлении времени к бесконечности. Подобный процесс «сглаживания» границы области достижимости происходит тем быстрее, чем меньше указанная разность. Если указанная выше разность положительна или равна нулю, то «заостренность» конических угловых точек с ростом времени, начиная с некоторого момента, не меняется. Найден угол раскрытия конуса в случае, когда эта разность равна нулю.

Во втором случае управление принадлежит классу кусочно-непрерывных функций, дополненному множеством обобщенных дельта-функ-

ций Дирака, импульс управляющего воздействия ограничен. Показано, что граница области достижимости может иметь плоские участки, участки линейчатых поверхностей, ребра, конические угловые точки. Аналитически исследуются и численно построены границы множества достижимости для системы с трехкратным нулевым собственным значением. Доказано, что граница области достижимости такой системы состоит из четырех плоских участков, четырех линейчатых поверхностей и четырех прямолинейных ребер. Она имеет также четыре конические угловые точки.

Работа ведется при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-01-00683).

Библиографический список

1. Бугров Д. И., Формальский А. М. Зависимость от времени областей достижимости систем третьего порядка // ПММ. 2017. № 2.

References

1. Bugrov D. I., Formal'skii A. M. Time dependence of the attainability regions of third order systems // PMM. 2017. № 2.

УДК 007.52

И. А. Калачева (ДОНГТУ, Алчевск, Россия, e-mail: irina.kalacheva.82@mail.ru),

Е. А. Малкова (ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт», Москва, Россия, e-mail: anita_13@bk.ru),

А. А. Мясников (ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт», Москва, Россия, e-mail: linever88@mail.ru)

САМОХОДНЫЙ ПОИСКОВЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ ПОСТРАДАВШИХ ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ОГРАНИЧЕННЫХ ПРОСТРАНСТВАХ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПОСТРОЕНИЯ ТОПОЛОГИИ В ТРЕХ КООРДИНАТНЫХ ПЛОСКОСТЯХ

Аннотация. Рассмотрено построение мобильного роботизированного комплекса для разведывания окружающей обстановки в ограниченных пространствах, сопряженных с опасными условиями.

Ключевые слова: самоходный комплекс, датчик газа, датчик препятствия, обнаружение людей.

I. A. Kalacheva (DONSTU, Alchevsk, Russia); **E. A. Malkova**, **A. A. Myasnikov** (Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia)

SELF-PROPELLED RECONNAISSANCE COMPLEX TO DETERMINE THE LOCATION OF SURVIVORS IN EXPLOSIVE CONFINED SPACES WITH THE POSSIBILITY OF BUILDING A TOPOLOGY IN THREE DIMENSIONS.

Abstract. This article describes the construction of a mobile robotic complex for reconnaissance of the environment in limited spaces associated with dangerous conditions

Index terms: self-propelled complex, gas sensor, obstacle sensor, human detection.

Рассматривается построение самоходного комплекса на основе современных общедоступных радиоэлектронных компонентов.

В качестве основы для монтирования выбрана сварная алюминиевая рама, снабженная независимыми гусеничными приводами с регу-

лируемыми передними катками для обеспечения возможности преодоления сложных препятствий, связанных с необходимостью передвижения по наклонной плоскости. В качестве приводов гусеничных траков применены вентильные двигатели.

Для определения расстояния и обнаружения человека используются ультразвуковые датчики расстояния, расположенные на передней части шасси (для определения препятствия и человека), по бортам (для оценки ширины прохода) и в центре платформы, направленные вертикально вверх для регистрации высот в процессе движения комплекса. Для определения физических размеров прохода используются общедоступные ультразвуковые датчики расстояния, которые разнесены по частотам для исключения возможности ложных срабатываний от переотражений при движении в ограниченном пространстве. Для обнаружения людей использованы более дорогостоящие датчики компании MaxBotix, которые позволяют без сложной математической обработки отфильтровывать переотраженные сигналы, и сигналы, отраженные от «твердых» объектов. Данные датчики производятся по передовым технологиям, что позволяет применять датчики в серийном производстве без подстройки программного кода под каждый новый экземпляр. Датчики компании MaxBotix калибруются при каждом включении, что позволяет им, в отличие от других широкодоступных аналоговых датчиков, «учитывать условия работы», в том числе температуру окружающей среды, так как с понижением температуры воздуха возникают определенные сложности при работе на частотах ультразвукового диапазона. В дополнение ко всему они способны различать человека на расстоянии до 1,0...1,5 м.

На борту комплекса присутствует возможность анализа состояния воздуха для передачи оперативной информации сотрудникам экстренных служб. Указанная функция реализована на датчике природных газов. Датчик способен различать сжиженный нефтяной, угольный и природный газы. Этот датчик может быть заменен на датчики, предназначенные для обнаружения концентраций других газов с минимальными вложениями. Данный датчик обладает высокой чувствительностью, что позволяет ему обнаруживать газы в их минимальных концентрациях.

В комплексе предусмотрена функция сохранения пройденного расстояния с фиксацией пройденных поворотов, ширин и высот проходов, что позволяет ему самостоятельно возвращаться на базу, а также после прибытия построить карту с высотами в специализированной программе, что может стать очень полезной оперативной информацией для сотрудников экстренных служб, позволяющей определить местонахождение человека и оценить опасность его жизни.

Вычислительные мощности обеспечены микроконтроллером линейки STM32 компании STMicroelectronics, построенном на ядре ARM Cortex-M3. Выбранный микроконтроллер примечателен огромным количеством цифровых входов/выходов, часть из которых без труда могут быть переведены в аналоговый режим работы, необходимый, например, для работы датчика наличия взрывоопасного газа и оценки данных с ультразвуковых датчиков. Также у данного микроконтроллера привлекательны высокая тактовая частота и совместимость pin-to-pin, что позволяет заменить установленный микроконтроллер на микроконтроллер в таком же факторе, но с увеличенными вычислительными возможностями, за счет повышения тактовой частоты и объема ПЗУ, без изменения печатной платы. Ядро ARM Cortex-M3 позволяет выполнять программный код за один цикл, что дает ему преимущество перед многими другими широкодоступными микроконтроллерами, которым требуется до пяти циклов для выполнения программного кода.

Библиографический список

1. **Поезжаева Е. В.** Промышленные роботы: учеб. пособие: в 3 ч. Пермь: Изд-во Перм. гос. тех. ун-та, 2006. Ч. 1. 64 с.
2. **Косулин В. Д., Михайлов Г. Б., Омельченко В. В., Путников В. В.** Вентильные электродвигатели малой мощности для промышленных роботов. Ленинград, 1988.
3. **Зенкевич С. Л., Ющенко А. С.** Управление роботами. М.: Изд-во МГОУ им. Н. Э. Баумана, 2006.
4. **Градецкий В. Г., Вешников В. Б., Калинин С. В., Кравчук Л. Н.** Управляемое движение мобильных роботов по произвольно ориентированным в пространстве поверхностям. М.: Наука, 2001. С. 26 – 91, 275 – 294.

5. Зозуля В. В., Мартыненко А. В., Лукин А. Н. Механика материалов. Харьков: Изд-во Национ. ун-та внутр. дел, 2001. 404 с., С. 133.

References

1. Poczhaeva E. V. Industrial robots: training manual. 3 hours. Perm': Publishing house Perm. state tech. un-ta, 2006. Part 1. 64 p.

2. Cosulin V. D., Michaylov G. B., Omelchenko V. V., Putnikov V. V. Low power valve motors for industrial robots. Leningrad, 1988.

3. Zenkevich S. L., Yuschenko A. S. Controlling robots. M.: Publishing house of Moscow state University. N. E. Bauman, 2006.

4. Gradecky V. G., Veshnikov V. B., Kalinichenko S. V., Kravchuk L. N. Controlled movement of mobile robots on randomly oriented surfaces in space, M.: Science, 2001. P. 26 – 91, 275 – 294.

5. Zozulya V. V., Martynenko A. V., Lukin A. N. Mechanics of materials. Kharkov: Publishing House of the nation. un-ta ext. del, 2001. 404 p., P. 133.

УДК 681.5.01

В. А. Шихин, канд. техн. наук, доц., И. А. Гулина, студентка
(ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия,
e-mail: ShikhinVA@mpei.ru)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЦЕН ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА РЫНКЕ «НА СУТКИ ВПЕРЕД»

Аннотация. Исследована возможность прогнозирования цены электроэнергии на оптовом рынке «На сутки вперед» с использованием ARIMA-модели с решением тестовой задачи на примере Белгородской области.

Ключевые слова: временной ряд, модель прогнозирования, ARIMA-модель.

V. A. Shikhin, I. A. Gulina
(National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia)

FORECASTING OF ELECTRICITY COAST ON THE MARKET «FOR THE DAY AHEAD»

Abstract. The ability to forecast the electricity prices on the federal market «The day ahead» is investigated through design the ARIMA-model, and tested over Belgorod region as an numerical example.

Index terms: time series, prediction model, ARIMA-model.

Сложность прогнозирования цен оптового рынка «на сутки вперед» (PCB) состоит в том, что механизмы рынка часто меняются в процессе функционирования оптового рынка электроэнергии (ОРЭ) [1], а ныне существующие методы прогнозирования недостаточно адаптированы к этим изменениям. Проведение исследования применимости ARIMA-модели для краткосрочного прогнозирования с учетом возможности введения поправочных коэффициентов, связанных с факторами, влияющими на колебания цены, включало в себя решение следующих задач:

- оценка влияния отобранных факторов;
- построение модели цены PCB;

– оценка влияния факторов, ранее не принимаемых во внимание [2];

– оценка адекватности моделей и точности прогнозирования.

Построение ARIMA-модели включало приведение временного ряда (ВР) к стационарному виду. Для проверки моделей на адекватность анализировали ряд ее остатков. Для оценки точности использовали среднюю абсолютную процентную ошибку (MAPE). Выбор влияющих факторов осуществляли на основе анализа коэффициентов корреляции.

Для численного эксперимента были сформированы выборка исторических цен электроэнергии по Белгородской области (ОАО «Белго-

род «ЭнергоСбыт») и данные по факторам, явно влияющим на изменение цены (курс доллара, температура, стоимость топлива и др.) в период с 01.01.2016 по 31.12.2017 – исходная выборка для построения модели и за январь 2018 – проверочная по возможности прогноза. Для моделирования использовали программный продукт «STATISTICA», выбор которого, в частности, был обусловлен его широкими возможностями по построению ARIMA-моделей. Выборки сортировали по сезонам и дням недели, что привело к значительному снижению ошибок прогнозирования.

Выводы. ARIMA-модели применимы для прогнозирования цен РСВ на ОРЭ при условии учета цикличности выборок и введения поправочных связей от влияющих факторов.

Библиографический список

1. Современная рыночная электроэнергетика Российской Федерации / под общ. ред. О. Г. Баркина. 3-е изд. М.: Совет рынка, 2017.
2. Дуброва Т. А. Статистические методы прогнозирования. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003.

References

1. *Sovremennaya rynochnaya electroenergia Rossiiskoy Federatsii /pod obsh. red. O. G. Barkina 3-e izd. (A modern market of the electric power industry of the Russian Federation, under the General editorship of O. G. Barkin 3rd edition). M.: Sovet ry'nka, 2017.*
2. *Dubrova, T. A. Statisticheskie metodi prognozirovaniya (Statistical forecasting methods). M.: UNITI-DANA, 2003.*

УДК 531/534:57

Н. Э. Шуленина, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
(ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», Москва, Россия,
e-mail: neshul@yandex.ru)

О ВОЗМОЖНОСТИ КОРРЕКЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ СИСТЕМЫ БИОНАВИГАЦИИ ЧЕЛОВЕКА

Аннотация. Приведены возможности коррекции информации, поступающей от вестибулярной системы, в условиях негативных для физиологического функционирования организма с использованием разработанной математической модели формирования выходной информации в вестибулярных биосенсорах.

Ключевые слова: вестибулярная система, информационный процесс, биосенсор.

N. E. Shulenina

(Federal State Budget Educational Institution of Higher Education M. V. Lomonosov Moscow State University
(Lomonosov MSU or MSU), Moscow, Russia)

ON THE POSSIBILITY OF THE INFORMATION PROCESS CORRECTION FOR THE HUMAN BIONAVIGATION SYSTEM

Abstract. The possibilities of delivering additional relevant data to information coming from the vestibular system in conditions negative for the physiological functioning of the organism using the developed mathematical model for the formation of output information in the vestibular biosensors are given.

Index terms: vestibular system, information process, biosensor.

Вестибулярная система организма является одной из самых древних систем. В процессе эволюции развился совершенный механизм ориентации в пространстве и сохранения вертикальной позы у человека. Данная система надежно функционирует в привычных условиях на Земле, но дает сбои при нахождении в различных экстремальных ситуациях, с которыми все чаще сталкивается человек с развитием технологий.

Используя разработанную в МГУ имени М. В. Ломоносова математическую модель формирования отклика вестибулярной системы на стимулирующие воздействия, можно прогнозировать поведение организма в нестандартных ситуациях и в дальнейшем корректировать информацию, необходимую для обработки центральной нервной системой. Данная проблема становится все более острой с учетом усложнения профес-

сиональной деятельности человека, например как оператора высокоскоростных аппаратов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 14-50-00029.

Библиографический список

1. **A Mathematical** Model of the Total Current Dynamics in Hair Cells, In: Math. Modeling of Complex Inform. Processing Systems / V. V. Alexandrov, A. Almanza, N. V. Kulikovskaya, R. Vega, T. B. Alexandrova, N. E. Shulenina, A. Limón, E. Soto. M.: State University, 2001. P. 26 – 41.

2. **Information** Process in Vestibular System. Wseas transactions on biology and medicine / V. V. Alexandrov, T. B. Alexandrova, Vega R. Castillo Quiroz G., Reyes Romero M., Soto E. 2007. V. 4. P. 193 – 203.

3. **Алгоритм** коррекции выходных сигналов вестибулярных механорецепторов для имитации пассивного поворота / В. В. Александров, Т. Б. Александрова, А. Р. Васкез, Р. Вега, М. Р. Рейес, Сото Э., К. В. Тихонова, Н. Э. Шуленина // Вестник Мос-

ковского ун-та. Сер. 1. Математика. Механика. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2015. № 5. С. 67 – 71.

References

1. **A Mathematical** Model of the Total Current Dynamics in Hair Cells, In: Math. Modeling of Complex Inform. Process. Systems / V. V. Alexandrov, A. Almanza, N. V. Kulikovskaya, R. Vega, T. B. Alexandrova, N. E. Shulenina, A. Limón, E. Soto. M.: State University, 2001. P. 26 – 41.

2. **Information** Process in Vestibular System. Wseas transactions on biology and medicine / V. V. Alexandrov, T. B. Alexandrova, Vega R. Castillo Quiroz G., Reyes Romero M., Soto E. 2007. V. 4. P. 193 – 203.

3. **An Output** Signal Correction Algorithm for Vestibular Mechanoreceptors to Simulate Passive Turns / V. V. Aleksandrov, T. B. Aleksandrova, A. Angeles Vaskes, R. Vega, M. Reies Romero, E. Soto, K. V. Tikhonova, N. E. Shulenina // Bulletin of Moscow University. Ser. 1. Mathematics. Mechanics. M.: Izd-vo mosk. un-ta, 2015. № 5. P. 67 – 71.

УДК 517.9

О. О. Решетова, аспирант каф. цифровых технологий, e-mail: tribunskih1993@mail.ru, науч. рук. – д-р физ.-мат. наук, проф. **М. Е. Семенов** (ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Россия)

УРАВНЕНИЕ ДУФФИНГА С ГИСТЕРЕЗИСНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ

Аннотация. Исследовано уравнение Дуффинга. В отличие от классического случая для описания нелинейной составляющей использован гистерезисный оператор, а именно феноменологическая модель Боука–Вена. В рассматриваемой задаче установлено соответствие между значением параметров модели и возникновением хаотических, квазипериодических и периодических режимов решения.

Ключевые слова: уравнение Дуффинга, гистерезисная нелинейность, модель Боука–Вена.

О. О. Reshetova
(Voronezh State University, Voronezh, Russia)

THE DUFFING EQUATION WITH HYSTERESIS NONLINEARITY

Abstract. In this paper the Duffing equation is investigated. In contrast to the classical case, a hysteresis operator is used to describe the nonlinear component, namely the phenomenological model Bouc–Wen. In the problem under consideration, a correspondence is established between the value of the model parameters and the appearance of chaotic, quasiperiodic and periodic regimes of the solution.

Index terms: Duffing equation, hysteresis nonlinearity, Bouc–Wen model.

Одно из основных направлений нелинейной динамики связано с изучением колебательных явлений. Осциллятор Дуффинга является клас-

сической моделью описания нелинейных колебаний. Изучение подобного рода систем имеет фундаментальное значение для многих прило-

жений, в частности в теории твердого тела и теории молекул. Для адекватного описания динамики реальных физических и механических систем необходимо учитывать эффекты гистерезисной природы [1, 2], возникающие в процессе длительного функционирования в силу естественного старения и износа механических составляющих. Математические модели таких нелинейностей, согласно классическим схемам Красносельского и Покровского, сводятся к операторам, которые трактуются как преобразователи в соответствующих функциональных пространствах, динамика которых описывается соотношениями: вход-состояние и состояние-выход [3].

Рассматриваемая модель описывает колебание нелинейного осциллятора с трением под действием гармонической внешней силы:

$$m\ddot{x}(t) + (1 - \eta f(t))\omega_0^2 x(t) + \beta \dot{x}^3(t) = f_0 \cos(\omega t). \quad (1)$$

Изучали поведение системы (1) при различных вариантах описания нелинейной составляющей, а именно рассматривали вариант, соответствующий случаю, при котором $f(t)$ с физической точки зрения представляет собой жесткость пружины, положение которой зависит от колебания маятника, и случай, описывающий нелинейность посредством феноменологической модели Боука–Вена [4]:

$$\dot{f}(t) = A\dot{x}(t) - B|\dot{x}(t)||f(t)|^{n-1}f(t) - \gamma\dot{x}(t)|f(t)|^n. \quad (2)$$

Численные результаты показали, что динамика системы существенным образом зависит от параметров модели, а именно: значительные изменения в характере режимов решений по сравнению с классическим поведением уравнения Дуффинга наблюдаются при включении в урав-

нение гистерезисных нелинейностей, в частном случае описываемых моделью Боука–Вена. Отметим, что при некоторых значениях параметров модели (1) реализуются хаотические, квазипериодические и периодические режимы решения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-08-00312, № 17-01-00251).

Библиографический список

1. Семенов М. Е., Матвеев М. Г., Лебедев Г. Н., Соловьев А. М. Стабилизация обратного гибкого маятника с гистерезисными свойствами // Мехатроника, автоматизация, управление. 2017. № 8. С. 516 – 525.
2. 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-Уральского государственного университета. Сер. Матем. Мех. Физ. 2017. № 9. С. 41 – 50.
3. Красносельский М. А., Покровский А. В. Системы с гистерезисом. М.: Наука. 1983. 272 с.
4. Ikhoulane F., Rodellar J. On the Hysteretic Bouc-Wen Model // Nonlinear Dynamics. 2005. V. 42. P. 63 – 78.

References

1. Semenov M. E., Matveyev M. G., Lebedev G. N., Solov'yov A. M. Stabilizatsiya obratnogo gibkogo mayatnika s gisterizisnymi svoystvami // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye. 2017. № 8. P. 516 – 525.
2. Stabilization of inverted pendulum on a two-wheeled vehicle / V. I. Ryazhskih, M. Y. Semenov, A. G. Rukavitsin, O. I. Kanishcheva, A. A. Demchuk, P. A. Meleshenko // Vestn. Yuzhno-Ural. Gos. Un-ta. Ser. Matem. Mekh. Fiz. 2017. № 9. P. 41 – 50.
3. Krasnosel'skii M. A., Pokrovskii A. V. Systems with Hysteresis. M.: Science. 1983. 272 p.
4. Ikhoulane F., Rodellar J. On the Hysteretic Bouc-Wen Model // Nonlinear Dynamics. 2005. V. 42. P. 63 – 78.

УДК 681.5.08

С. А. Канаев, А. С. Конькова, М. Ю. Молозина, О. В. Москаленко, А. В. Торчинская
(ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва, Россия,
e-mail: alexandrakonkova95@gmail.com)

ОСОБЕННОСТИ СХЕМНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ И КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ МОБИЛЬНОГО СПИРОМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Аннотация: Представлены особенности схемной реализации и конструктивного исполнения телемедицинского спирометра.

Ключевые слова: телемедицинский спирометр, термоанемометрический датчик.

S. A. Kanaev, A. S. Konkova, M. Y. Molozina, O. V. Moskalenko, A. V. Torchinskaya
(FSBEI HE «MIREA – Russian Technological University», Moscow, Russia)

FEATURES OF CIRCUIT REALIZATION AND CONSTRUCTIVE EXECUTION OF THE MOBILE SPIROMETRIC COMPLEX

Abstract: In the report features of circuit realization and constructive execution of a telemedicine spirometer are presented.

Index terms: telemedicine spirometer, thermo-anemometric sensor.

Одним из необходимых условий развития телемедицины является развитие медицинских приборов персональной диагностики. На кафедре КБ-6 проводятся работы по разработке малогабаритных персональных телемедицинских спирометров, предназначенных, в первую очередь, для наблюдения за состоянием пациентов с хроническими формами бронхолегочных заболеваний.

На первом этапе работ был создан опытный образец малогабаритного спироанализатора, построенного на базе малоинерционных термоанемометрических и калориметрических датчиков воздушного потока [1]. В ходе проведенных экспериментальных исследований были определены: оптимальные схемы включения и режимы работы датчика воздушного потока; подтверждена правильность и обоснованность выбранных схемных и алгоритмических решений; проведена оптимизация аналоговой части устройства; проведена экспериментальная оценка его метрологических характеристик; исследованы параметры стабильности используемого датчика и его схемы включения; разработан и оптимизирован алгоритм калибровки устройства; влияние модулей Wi-Fi на работу аналоговой части схемы.

По результатам экспериментальных исследований было сформулировано техническое задание на разработку образца спирометра, ориентиро-

ванного на серийное производство. Данный образец спирометра имеет модульный принцип построения, конструктивно электронный блок выполнен на многослойной печатной плате, оптимизирована аналоговая и цифровая часть схемы, улучшена конструкция электромагнитных экранов и фильтров электромагнитных помех, оптимизирована схема батарейного питания, разработан новый вариант корпуса.

Параллельно разработке телемедицинского спирометра разрабатывается два комплекта программного обеспечения (ПО): пользовательское и ПО лечащего врача. На начальном этапе предполагается проводить обмен диагностической информацией с использованием электронной почты и службы коротких сообщений. Впоследствии предполагается использовать один из доступных телемедицинских сервисов.

Библиографический список

1. Стенд для калибровки и термокомпенсации портативных спирографов и спироанализаторов / С. А. Канаев, А. С. Конькова, М. Ю. Молозина, О. В. Москаленко, А. В. Торчинская // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сб. тр. 2017. С. 123–124.
2. Особенности аппаратно-программной реализации электронного блока для мобильного спиромет-

рического комплекса / С. А. Канаев, А. С. Конькова, М. Ю. Молозина, О. В. Москаленко, А. В. Торчинская // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: сборник трудов. 2017. С. 189–190.

References

1. **Stend** dlya kalibrovki i termokompensatsii portativnykh spirografov i spiroanalizatorov / Kanaev S. A., Konkova A. S., Molozina M. Yu., Moskalenko O. V.,

Torchinskaya A. V. // *Sovremennyye tekhnologii v zadachakh upravleniya, avtomatiki i obrabotki informatsii: sbornik trudov*. 2017. P. 123–124.

2. **Osobennosti** apparatno-programmnoy realizatsii elektronnoy bloka dlya mobil'nogo spirometricheskogo kompleksa / S. A. Kanaev, A. S. Konkova, M. Yu. Molozina, O. V. Moskalenko, A. V. Torchinskaya // *Sovremennyye tekhnologii v zadachakh upravleniya, avtomatiki i obrabotki informatsii: sbornik trudov*. 2017. P. 189–190.

УДК 65.011.56

А. П. Парамонов, e-mail: grosa747@mail.ru, Ю. О. Валентинова, e-mail: Julia.vav@gmail.com
(ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт», Москва, Россия)

МОДЕЛИ ПРИМЕНЕНИЯ ФОРМАЛИЗОВАННЫХ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПРИ РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. Рассмотрены актуальные вопросы обеспечения поддержки принятия решений в прикладных задачах управления. Анализируются результаты научных исследований, связанных с реализацией моделей применения формализованных экспертных оценок для выбора рациональных управленческих решений из множества возможных альтернатив. Обоснована целесообразность практического использования и дальнейшего развития экспертного инструментария в составе программного обеспечения.

Ключевые слова: модели, поддержка принятия решений, управление, экспертные оценки, эффективность.

A. P. Paramonov, J. O. Valentinova
(Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia)

MODELS OF APPLICATION OF FORMALIZED EXPERT EVALUATIONS IN SOLVING APPLIED CONTROL PROBLEMS

Abstract. Topical issues of providing support for decision-making in applied management problems are considered. The results of scientific research related to the implementation of models for the application of formalized expert evaluations for the selection of rational management solutions from a variety of possible alternatives are analyzed. The expediency of practical use and further development of expert tools as part of software is justified.

Index terms: models, decision-making support, management, expert evaluations, efficiency.

Информатизация (и автоматизация) поддержки принятия управленческих решений в различных сферах социальных отношений в условиях формирования нового технологического уклада является актуальной научной и практической задачей, которая относится к числу приоритетных направлений реализации государственной политики в интересах становления в Российской Федерации информационного общества и цифровой экономики, обеспечения устойчивого и динамичного развития страны [1, 2].

В ряде случаев при решении прикладных задач управления незаменимыми являются экс-

пертные оценки, базирующиеся на уникальных знаниях и опыте специалистов высочайшего класса, использование которых позволяет формировать рациональные варианты решений из числа возможных альтернатив при минимизации временных затрат и управленческих издержек применительно к конкретной ситуационной задаче, прогнозировать результаты выполнения рассматриваемых решений и связанные с ними риски.

Формализация экспертных оценок в рамках создания экспертной системы или иного программного обеспечения экспертной поддержки принятия управленческих решений предполагает

разработку моделей применения экспертных оценок и алгоритмов их реализации, отвечающих установленным требованиям и принятым ограничениям. Важным при этом является наличие типовых решений для наиболее распространенных (обоснованных данными статистики) задач управления и смоделированных (в том числе нестандартных) управленческих ситуаций, подготовленных с учетом экспертных знаний и практического опыта решения подобных задач.

Процесс выработки и принятия управленческих решений с применением формализованных экспертных оценок в общем случае связан с формированием альтернативных вариантов решений, проведением их сравнительного анализа на основе прогноза достижения целевых показателей по каждому из вариантов (в соответствии с критериями оценки эффективности) и объема предстоящих затрат на реализацию рассматриваемых альтернатив.

Математические модели выбора рациональных решений в условиях многокритериальности в значительной степени ориентированы на реализацию алгоритмов векторной оптимизации: нахождения таких параметров управления и параметров состояния (функционирования) управляемой системы, которые обеспечивают достижение наибольших (экстремальных) значений целевых показателей. В частных случаях, когда определяющее значение в оценке эффективности рассматриваемых альтернатив принадлежит одному из целевых показателей, возможна реализация алгоритма свертки многокритериальной задачи к оценке эффективности управленческого решения по ключевому (определяющему) критерию.

Результаты научных исследований, связанных с разработкой моделей экспертной поддержки принятия решений в процессах управления проектом модернизации летательного аппарата и их апробацией, могут служить примером успешного применения формализованных экспертных оценок в прикладных задачах управления [3, 4]. При этом следует отметить, что программный модуль, обеспечивающий формирование рациональных альтернатив, реализует в зависимости от исходных данных и связанных с ними особенностями, тот или иной (из числа рассмотренных выше) алгоритм решения многокритериальной задачи.

Таким образом, анализ результатов научных исследований в области разработки моделей применения формализованных экспертных оценок и их экспериментальной апробации позволяет сделать вывод о целесообразности проведения дальнейших научных изысканий в этом направлении. Построение моделей применения формализованных экспертных оценок при решении прикладных задач управления и создание актуализированного программного инструментария открывает широкие возможности для развития технологий экспертной поддержки принятия решений как в интересах непосредственного выполнения прикладных задач управления, так и в учебных целях – в процессах профессиональной подготовки управленческих кадров.

Библиографический список

1. **Стратегия** развития в Российской Федерации информационного общества на 2017 – 2030 годы, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 9 мая 2017 г. № 203.
2. **Программа** «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р.
3. **Парамонов А. П.** Применение экспертной системы для прогнозирования эффективности модификации летательного аппарата // *Авиационная техника*. 2010. № 2.
4. **Зернов В. И., Парамонов А. П.** Прогнозирование эффективности модернизации транспортных космических комплексов с применением экспертной системы // *Труды МАИ*. 2008. № 31.

References

1. **The Strategy** for the Development of the Information Society in the Russian Federation for 2017 – 2030: Decree № 203 of the President of the Russian Federation of May 9, 2017. № 203.
2. **The Program** «Digital Economy of the Russian Federation» approved by the Government of the Russian Federation in its resolution № 1632-r dated July 28, 2017.
3. **Paramonov A. P.** The Application of an expert system to predict the efficiency of flight vehicle modification // *Aviation technique*. 2010. № 2.
4. **Zernov V. I., Paramonov A. P.** The Prediction of efficiency of modernization transport space complexes using expert system // *Work of MAI*. 2008. № 31.

ФИЛЬТРУЮЩИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ СИНОС-ГОРДОНА С ГИСТЕРЕЗИСНЫМИ СВЯЗЯМИ

Аннотация. Исследована дискретная система синус-Гордона (цепочка связанных нелинейных маятников). Для описания гистерезисной составляющей использована феноменологическая модель Боука–Вена. Рассмотрено влияние гистерезиса в связях на локализованные колебания маятников в цепи.

Ключевые слова: дискретная система синус-Гордона, гистерезисная нелинейность, модель Боука–Вена.

A. V. Tolkachev
(Voronezh State University, Voronezh, Russia)

FILTERING PROPERTIES OF THE SINE-GORDON SYSTEM WITH HYSTERESIS CONSTRAINTS

Abstract. In this paper the discrete sine-Gordon system (a chain of coupled nonlinear pendulums) is investigated. To describe the hysteresis component the phenomenological Bouc–Wen model is used. The effect of hysteresis on the localized oscillations of pendulums in a similar chain is considered.

Index terms: discrete sine-Gordon system, hysteresis nonlinearity, Bouc–Wen model.

Одно из основных направлений нелинейной динамики связано с изучением колебательных явлений. Система синус-Гордона является моделью для описания нелинейных волн в среде [1]. Например, она имеет приложение в теории твердого тела. Для описания динамики реальных физических и механических систем необходимо учитывать эффекты гистерезисной природы [2, 3], возникающие в процессе длительного функционирования в силу естественного старения и износа механических составляющих. Математические модели таких нелинейностей, согласно классическим схемам Красносельского и Покровского, сводятся к операторам, которые трактуются как преобразователи в соответствующих функциональных пространствах, динамика которых описывается соотношениями: вход-состояние и состояние-выход [4].

Для описания гистерезиса использовалась феноменологическая модель Боука–Вена [5]. Результаты численного моделирования демонстрируют регуляризирующую роль гистерезисных связей с точки зрения локализации колебательных движений в рассматриваемой системе. Отмечены фильтрующие свойства гистерезисных связей с точки зрения спектрального анализа колебательных движений отдельных компонент системы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-08-00312, № 17-01-00251, № 18-08-00053).

Библиографический список

1. Скотт Э. Нелинейная наука. Рождение и развитие когерентных структур. М.: Физматлит, 2007. 560 с.
2. Семенов М. Е., Матвеев М. Г., Лебедев Г. Н., Соловьев А. М. Стабилизация обратного гибкого маятника с гистерезисными свойствами // Мехатроника, автоматизация, управление. 2017. № 8. С. 516 – 525.
3. Стабилизация обратного маятника на двухколесном транспортном средстве / В. И. Ряжских, М. Е. Семенов, А. Г. Рукавицын, О. И. Канищева, А. А. Демчук, П. А. Мелешенко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Матем. Мех. Физ. 2017. № 9. С. 41 – 50.
4. Красносельский М. А., Покровский А. В. Системы с гистерезисом. М.: Наука, 1983. 272 с.
5. Ikhoulane F., Rodellar J. On the Hysteretic Bouc–Wen Model // Nonlinear Dynamics. 2005. V. 42. P. 63 – 78.

References

1. Scott E. Nonlinear science. Emergence and Dynamics of Coherent Structure. M.: Fizmatlit, 2007. 560 p.
2. Semenov M. Ye., Matveyev M. G., Lebedev G. N., Solov'yov A. M. Stabilizatsiya obratnogo

gibkogo mayatnika s gisterizatsionnymi svoystvami // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye. 2017. № 8. P. 516 – 525.

3. **Stabilization** of inverted pendulum on a two-wheeled vehicle / V. I. Ryazhskih, M. Ye. Semenov, A. G. Rukavicin, O. I. Kanishcheva, A. A. Demchuk,

P. A. Meleshenko // Vestn. Yuzhno-Ural. Gos. Un-ta. Ser. Matem. Mekh. Fiz. 2017. № 9. P. 41 – 50.

4. **Krasnosel'skii M. A., Pokrovskii A. V.** Systems with Hysteresis. M.: Science, 1983. 272 p.

5. **Ikhoulane F., Rodellar J.** On the Hysteretic Bouc-Wen Model // Nonlinear Dynamics. 2005. V. 42. P. 63 – 78.

УДК 004.415.2:004.81

Ю. А. Аринчехина, О. А. Мишулина
(НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия, e-mail: arin-akira@mail.ru)

ОБРАБОТКА ДАННЫХ фМРТ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПАТТЕРНОВ АКТИВНОСТИ МОЗГА В КОГНИТИВНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Аннотация. Целью работы является разработка подхода к анализу данных фМРТ, предоставляющего возможность изучения индивидуальных когнитивных особенностей участника эксперимента. Предлагается методика расчета паттернов активности мозга для заданной парадигмы эксперимента. Результаты обработки экспериментальных данных подтверждают, что разработанная методика позволяет получить значимую информацию об особенностях активности мозга участников эксперимента.

Ключевые слова: когнитивный эксперимент, активность мозга, фМРТ, кластеризация, индивидуальные паттерны активности.

Y. A. Arinchekhina, O. A. Mishulina
(NRNU «MEPhI», Moscow, Russia)

PROCESSING FMRI DATA FOR DETECTING INDIVIDUAL PATTERNS OF BRAIN ACTIVITY DURING A COGNITIVE EXPERIMENT

Abstract. The aim of the work is to develop an approach to the analysis of fMRI data, which provides an opportunity to study the individual cognitive features of the participant. A technique for calculating brain activity patterns for a given experiment paradigm is proposed. The results of the processing of the experimental data confirm that the developed technique allows to obtain meaningful information about the features of brain activity of the participants.

Index terms: cognitive experiment, brain activity, fMRI, cluster analysis, individual patterns of activity.

Функциональные нарушения речи вызывают отклонение мозговой активности от нормы. В данной работе рассматривается такое нарушение, как заикание, поэтому внимание сосредоточено на активности в зонах Брока и Вернике, связанных с организацией и пониманием речи. Основным средством для получения информации об активности мозга является функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ). Целью работы является создание методики обработки данных фМРТ, позволяющей получить значимую информацию об особенностях активности мозга участника эксперимента.

В ходе работы были выявлены некоторые недостатки существующего программного обеспечения, используемого для обработки данных

фМРТ [1]. Поэтому для определения активно работающих зон мозга был предложен альтернативный подход, основанный на однофакторном дисперсионном анализе, который применяется к относительным характеристикам активности вокселя. Для построения индивидуальных паттернов активности мозга была введена градация типов активности вокселей, позволяющая охарактеризовать их поведение в каждой из тестовых задач («чтение вслух», «чтение про себя», «пересказ вслух», «пересказ про себя»). Расчет типов активности производили с использованием скорректированного критерия Стьюдента

$$Z = \frac{\mu - \mu_i}{\sigma_i / \sqrt{n_i^{ef}}}$$
. Воксели, описанные таким обра-

зом, кластеризовывали методом DBSCAN [2], показавшим лучший результат по сравнению с другими методами кластеризации. Набор кластеров и их характеристики и являлись искомыми паттернами.

В среднем объем кластера составляет 7 % объема всех вариабельных вокселей, в кластер попадает 10 % из всего набора признаков. Полученные паттерны позволяют сделать вывод об особенностях работы мозга участников. Например, разработанная методика позволяет выде-

лать зоны, работающие в противофазе на парах задач «про себя» и «вслух».

Библиографический список

1. Eklund A. et al. Does parametric fMRI analysis with SPM yield valid results? – An empirical study of 1484 rest datasets // NeuroImage. 2012. V. 61(3). P. 565 – 578.
2. Rui Xu, Donald Wunsch II. Survey of Clustering Algorithms. // IEEE transactions on neural networks. 2005. V. 16. № 3. P. 645 – 678.

УДК 517.988.8

Е. А. Климова, Н. В. Малышева, Р. Н. Исянов, В. В. Сазонов
(ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия, e-mail: atpqu@yandex.ru)

ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОГО АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

Аннотация. Представлена разработка программного пакета для нелинейного анализа временных рядов медицинских данных.

Ключевые слова: временной ряд, нелинейный анализ, медицинские данные, фрактальная размерность.

E. A. Klimova, N. V. Malysheva, R. N. Isyanov, V. V. Sazonov
(Penza State University, Penza, Russia)

SOFTWARE PACKAGE FOR NONLINEAR TIME SERIES ANALYSIS OF MEDICAL DATA

Abstract. The work presents the development of a software package for nonlinear time series analysis of medical data.

Index terms: time series, nonlinear analysis, medical data, fractal dimension.

В настоящее время используется достаточно много приборов для автоматического сбора медицинских показателей пациента (например, измерения температуры, давления, пульса и т.п.). Работа данных приборов основана на периодическом измерении заданного показателя и сохранении времени и измеренного параметра в памяти прибора, либо в памяти компьютера при соответствующем подключении.

Подобные приборы используют временной ряд измеренных параметров, анализируя которые, можно сделать соответствующие заключения о состоянии здоровья человека, спрогнозировать скачки тех или иных параметров, принять соответствующие меры или способы лечения в зависимости от полученных данных [1]. Но ви-

зуальный анализ временных рядов является трудоемким процессом, требующим концентрации внимания и определенных знаний. Данный анализ не является эффективным ввиду сложности проведения и зависимости от человеческого фактора. Существует несколько программных решений, в которых реализованы функции работы с временными рядами (обработка статистических данных). Самым популярным и известным решением является MS Excel.

Цель спектрального анализа – разложить ряд на функции синусов и косинусов различных частот для определения тех, появление которых особенно существенно и значимо. Один из возможных способов сделать это – решить задачу линейной множественной регрессии, где зави-

симая переменная – наблюдаемый временной ряд, а независимые переменные или регрессоры: функции синусов всех возможных (дискретных) частот [2].

В работе были предложены алгоритмы расчета таких показателей временных рядов, как фрактальная размерность, энтропия, экспонента Ляпунова, спектральный анализ с перешкалированием. Все эти показатели представляют большую значимость при оценке значений временных рядов.

В результате был разработан общий алгоритм программы, который предусматривает программную реализацию всех вышеперечисленных методов, а также частные алгоритмы для определения значения каждого из показателей.

Библиографический список

1. **Никульчев Е. В.** Геометрический подход к моделированию нелинейных систем по экспериментальным данным: монография. М.: МГУП, 2007. 162 с.
2. **Волошина О. А.** Метод ЭКГ-диагностики функционального состояния человека на основе фрактального анализа и Вейвлет-преобразования // Радиотехника и компьютерные системы. 2010. № 4. С. 29 – 34.

References

1. **Nikulchev E. V.** Geometric approach to the modeling of nonlinear systems from experimental data: monograph. M.: MGUP, 2007. 162 p.
2. **Voloshin O. A.** The method of ECG diagnostics of a person's functional state on the basis of fractal analysis and wavelet transform // Radio electronics and computer systems. 2010. № 4. P. 29 – 34.

УДК 535

И. А. Ахмедов, Ю. И. Худак
(ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва, Россия,
e-mail: hudak@mirea.ru)

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ ПРОСВЕТЛЕНИЯ ОПТИКИ

Аннотация. Разработан математический аппарат, позволивший получить точные оценки энергетических коэффициентов отражения слоистых диэлектрических систем (СДС), обнаружить и изучить графовую структуру пространства импедансов СДС, существенно упростить постановки, анализ и решение оптимизационных задач просветления оптики.

Ключевые слова: оптика, просветление, слоистые диэлектрические системы, алгоритм решения задачи просветления.

I. A. Akhmedov, Yu. I. Hudak
(«FSBEI HE MIREA – Moscow Technological University», Moscow, Russia)

MATHEMATICAL APPARATUS FOR SOLVING THE TASK OF THE ANTIREFLECTIVE COATING

Abstract. The mathematical apparatus was developed that allowed to obtain accurate estimates of the energy reflection coefficients of layered dielectric systems (LDS), to detect and study the graph structure of the space of SDS impedances, to simplify the formulation, analysis and solution of optimization problems of optical illumination.

Index terms: optics, antireflective coating, layered dielectric systems, solving the task of antireflective coating.

1. Предложены два варианта математических постановок **оптимизационной задачи просветления**¹:

K_0 . **Классическая** (на фиксированной частоте ω_0):
$$R(\vec{p}; \vec{v}; \omega_0) \xrightarrow{\vec{p}; \vec{v}} \min \Leftrightarrow F(\vec{p}; \vec{v}; \omega_0) \xrightarrow{\vec{p}; \vec{v}} \min.$$

¹ В нижеследующем тексте слева приведены **исходные** математические постановки задач, а справа – **эквивалентные** им квадратичные варианты постановок тех же задач.

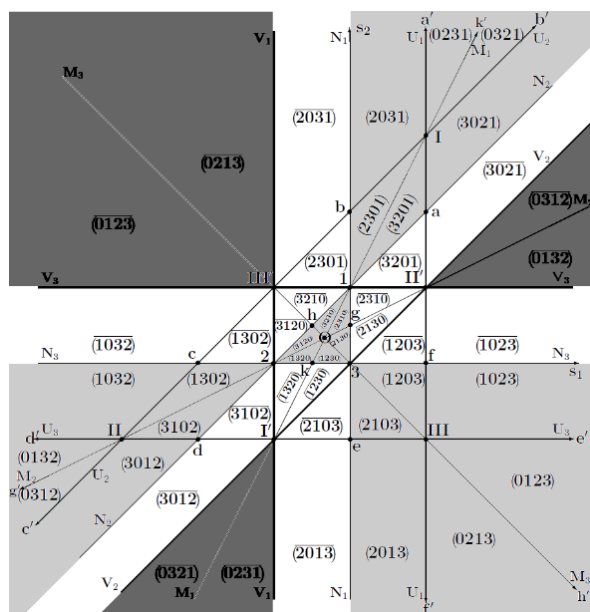


Рис. 1. Пространство P_2 импедансов двухслойных СДС в координатах (s_1, s_2)

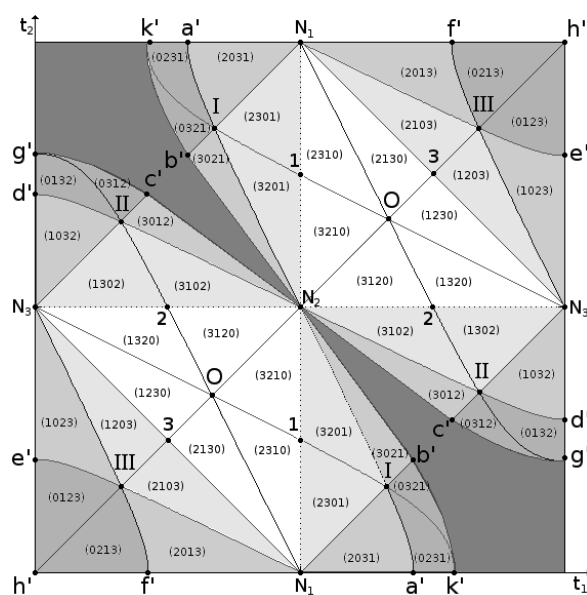


Рис. 2. Границы расположения нулей функции $F(t_1, t_2)$ в соответствии с рис. 1

$C_{[\Omega_1, \Omega_2]}$. В смысле Чебышева (для заданного интервала частот $[\Omega_1, \Omega_2]$):

$$\max_{\Omega_1 \leq \omega \leq \Omega_2} \mathbf{R}(\omega; \vec{p}; \vec{v}) \xrightarrow{\vec{p}; \vec{v}} \min \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \max_{\Omega_1 \leq \omega \leq \Omega_2} \mathbf{F}(\omega; \bar{p}; \vec{v}) \xrightarrow{\bar{p}; \vec{v}} \min.$$

2. «Показательные» координаты (s_1, s_2) :
 $\theta_1 = \theta^{s_1+1/2}$, $\theta_2 = \theta^{s_2-s_1}$, $\theta_3 = \theta^{-s_2+1/2}$, превращают пространство **импедансов** $P_2^{\text{def}} = \{\vec{p} = (p_1, p_2)\}$ двухслойных СДС в плоский **граф** с 20 вершинами, 66 ребрами и 48 гранями (рис. 1), каждому **элементу** которого отвечает **класс** двухслойных СДС.

3. На рис. 2 изображен квадрат – период профилирующей функции $\mathbf{F}(t_1, t_2)$, внутри которого отмечены области, в которых могут *располагаться* нули $\mathbf{F}(t_1, t_2)$. Они помечены на рис. 2 наборами $(ijkl)$ точно так же, как соответствующие им области на рис. 1.

Библиографический список

1. **Ахмедов И. А., Худак Ю. И.** Proceedings of the 8th Congress of the International Society for Analysis, its Applications, and Computation (22 – 27 August 2011). М.: Peoples' Friendship University of Russia. 2012. V. 1. С. 123 – 128.

References

1. **Akhmedov I. A., Hudak Yu. I.** Proceedings of the 8th Congress of the International Society for Analysis, its Applications, and Computation (22 – 27 August 2011). M.: Peoples' Friendship University of Russia. 2012. V. 1. P. 123 – 128.

А. В. Чернышов, e-mail: sch-ru@yandex.ru
(Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Мытищи, Россия)

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ ОПТИЧЕСКОГО ДИСКА DVD-R С ЗАПИСЬЮ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Аннотация. На основании анализа результатов тестирования массива архивных дисков DVD-R, хранившихся несколько лет, определено реальное значение вероятности выхода из строя диска DVD-R с записью.

Ключевые слова: DVD-R с записью, длительное хранение, вероятность отказа.

А. V. Chernyshov
(Mytiscchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytiscchi, Russia)

THE INFLUENCE OF THE SHAPE OF MEMBERSHIP FUNCTIONS OF TERMS OF LINGUISTIC VARIABLES ON THE DYNAMICS OF FUZZY LOGICAL CONTROLLERS

Abstract. Based on the analysis of the results of testing the array of archival DVD-R discs that have been stored for several years, the real value of the probability of failure of the DVD-R disc with recording is determined.

Index terms: DVD-R with recorded data, long-term storage, probability of failure.

Оценка вероятности выхода из строя оптических дисков необходима для расчета надежности проектируемых систем длительного (архивного) хранения данных.

Под вероятностью выхода из строя (отказа) будем понимать невозможность считать с диска любую часть записанной информации. Требуется иметь хотя бы точечную оценку вероятности отказа оптического диска.

Заявляемые для оптических дисков сроки службы в 30 – 50 лет являются результатом расчетов по ускоренным тестам, проводимым на конкретных партиях дисков [1].

Имеются очень ограниченные данные по реальным срокам службы дисков DVD-R [2]. Они статистически недостоверны и по ним нельзя делать какие-либо выводы.

Автор провел тестирование личного архива дисков DVD-R. Длительность хранения информации на дисках составила от 8 до 9 лет.

Всего был протестирован 291 диск. Полностью считались все диски. Поэтому можно утверждать, что на интервале времени 8 лет с вероятностью 95 % матожидание значения вероятности отказа диска DVD-R (выпущенного 8 лет назад) не превысит $1/291 \pm 0,006$, что означает, что вообще значение вероятности отказа диска DVD-R не превысит 0,01.

Библиографический список

1. Zheng J., Slattery O. T. NIST/Library of Congress Optical Disc Longevity Study: Final Report. September, 2007. 32 p. URL: https://www.loc.gov/preservation/resources/rt/NIST_LC_OpticalDiscLongevity.pdf (Accessed 2016-05-11).

2. Пилипчук М. И., Балакирев А. Н., Дмитриева Л. В., Залаев Г. З. Рекомендации по обеспечению сохранности информации, записанной на оптических дисках (Тестирование выборочного массива документов федеральных архивов). М.: РГАНТД, 2011. 52 с.

References

1. Zheng J., Slattery O. T. NIST/Library of Congress Optical Disc Longevity Study: Final Report. September, 2007. 32 p. URL: https://www.loc.gov/preservation/resources/rt/NIST_LC_OpticalDiscLongevity.pdf (Accessed 2016-05-11).

2. Pilipchuk M. I., Balakirev A. N., Dmitrieva L. V., Zalaev G. Z. Rekomendacii po obespecheniyu sohrannosti informacii, zapisannoj na opticheskikh diskah (Testirovanie vyborochnogo massivaa dokumentov federalnyh arhivov) (Recommendations to ensure the safety of information stored on optical disks) (Testing of a sample array of documents of Federal archives). M.: RGANDT, 2011. 52 p.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Харин Е. Г., Копылов И. А., Копелович В. А., Поликарпов В. Г., Ясенюк А. В. Траекторные измерения для решения специальных задач при летных испытаниях	4
Семенов М. Е., Матвеев М. Г., Мелещенко П. А., Соловьев А. М., Решетова О. О., Карпов Е. А. Модели стабилизации и управления динамическими системами с гистерезисными свойствами	13
Степанов О. А., Зайцев О. В. К 60-летию международной федерации по автоматическому управлению	18

Секция 1

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Марьясин О. Ю. Интеллектуальная гибридная система управления зданием	25
Тягунов О. А. Задача оптимизации программных законов управления исполнительного уровня автономных мобильных роботов	26
Аллилуева Н. В., Руденко Э. М. Многокритериальная маршрутизация бпла на графе реперных точек методом генетического алгоритма	27
Литовка Ю. В., Насраоуи М. Интеллектуальная система управления процессом нанесения наномодифицированного гальванического покрытия	29
Хорев Т. С., Лельков К. С., Петрухин В. А., Шумов М. Б. Двухосный колесный наземный робот	30
Грибков А. Н., Муромцев Д. Ю., Калашиников Д. В. Анализ задач оптимального управления многомерными технологическими объектами с учетом влияния возмущающих воздействий	31
Логинов В. А., Ефимов А. С. Проектирование логики функционирования блока обработки специализированного лазерного сканера средствами языка описания аппаратуры на базе ПЛИС	32
Бусурин В. И., Медведев В. М., Карабицкий А. С. Принципы автоматического формирования программного обеспечения контрольно-проверочной аппаратуры систем управления	33
Зайцев А. В., Лупанчук В. Ю., Киб Н. А., Кузнецов О. И. Информационный подход для принятия решений в сфере навигации подвижных объектов	34
Лацез А. Я., Мешков В. В. Синтез грубой системы управления нестационарными объектами	36
Акжигитов И. И., Соколова О. В. Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом формирования бумажного полотна на базе SCADA-системы Data Rate	38
Афанасьева А. О., Варшавский П. Р. Методы когнитивной графики как средство образного представления информации для систем поддержки принятия решений	39

Секция 2

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

Балакина Е. Д. Использование технологии DATA MINING для интеллектуального анализа текста	41
Татарникова А. А. Трудности работы с персональными данными в медицинских информационных системах	43
Коновалов А. А., Чечиков Ю. Б. Технология работы систем обнаружения вторжений	44
Будяков А. Н., Матвеев М. Г. Целочисленная задача оптимального выбора и распределения оборудования	45
Сельвесюк Н. И., Веселов Ю. Г., Островский А. С. К вопросу обработки изображения на принципах зрительного восприятия	46
Сельвесюк Н. И., Веселов Ю. Г., Островский А. С. Прогнозирование точности определения координат объектов на изображении	48
Веревкин М. В., Егоров В. В. Создание компьютерной инфраструктуры для разработчиков навигационных комплексов с использованием технологии виртуализации	50
Михеева Д. Е., Ломов В. А., Соколова О. В. Экстремальное регулирование процесса горения топлива в котельной установке	51
Клюжина И. А., Дулкина К. И., Исянов Р. Н. Повышение визуализации сигналов с датчиков давления и температуры	52
Зверев А. Е., Куликова А. В., Плотников М. М. Разработка единой централизованной информационной системы сбора отчетности в целях финансового планирования и оперативного мониторинга деятельности подведомственных Минобрнауки учреждений	54
Цветков Д. А., Климов В. В. Методы построения прогнозов на основе анализа временных рядов в финансовой сфере	55
Аль-Бусаиди С. С. С., Пономарев С. В. Применение оценок показателя «Приоритетное число возможности улучшения» при улучшении процесса входного контроля сырья «уайт-спирит» в испытательной лаборатории	57

Секция 3

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ

Гуменник А. И., Кононов М. А. Система нижнего уровня автоматизации в производстве электроизоляционных материалов	61
Дорри М. Х. Особенности нового программного комплекса РДС для разработки исследовательских стендов систем автоматического управления	62
Садовский М. М., Кирсанов М. Д. Имитатор подвижного объекта для оптико-электронного тепловизионного прибора	63
Федотов Е. Г. Гирокомпас на базе микромеханического гироскопа	65
Иванов С. А. Заводская интегрированная калибровка бесплатформенной инерциальной навигационной системы	66
Фаворский К. Г., Фаворский Е. К. Основы проектирования регулятора для оптимального по быстродействию управления	67
Гротова О. Н., Мин Мин Тхо, Иванов А. В. Применение системы слежения за Солнцем в фотоэлектрических энергетических установках	68
Матвеев М. Г., Иванов А. В. Алгоритм оптимальной организации вычислений в модульной авионике	70
Садеков Р. Р. Исследование свойств инерциальной навигационной системы с применением платформы Стюарта и вариации Аллана	71
Анисимов Д. Н., Млюкова Ю. А. Анализ влияния помехи на статистические характеристики оценок при параметрической идентификации динамических объектов	72
Маслов А. А., Холева Е. Э., Тихомиров С. Г. Определение оптимального режима вулканизации резиновых смесей	74
Беседин В. М., Хайбулаева Н. М. Разработка и исследование алгоритмов пространственного поиска в двухконтурной системе	75
Карпов Е. А., Шеина О. А. Стабилизация хаоса в модифицированной системе Лоренца	76
Колосов О. С., Кузнецова А. А. Динамика систем управления с ПИД-регулятором с увеличенным шагом дискретизации в канале дифференцирования	77
Колосов О. С., Короленкова В. А. Методика обработки PATTERN электроретинограмм при оценке частотных характеристик сетчатки глаза для систем диагностики	78
Вершинин Д. В., Колосов О. С., Овчинников Н. И., Парфенова О. И. Параметрическая идентификация замкнутых систем управления с микропроцессорными контроллерами	79
Державин О. М., Кудрина Т. В. Исследование метода скользящего детерминанта с учетом зашумленности реализаций процессов	80
Ягодкина Т. В., Ларин А. А. Исследование модальных адаптивных ММО-систем с изменяющимися параметрами	82
Державин О. М., Ковалева Т. Ю., Легошин Д. А. Условия возникновения автоколебаний в мультипликативных системах второго порядка	83
Хризолитова С. А., Попов А. А. Идентификация нелинейностей в прецизионных итерационных электро-механических следящих системах	84
Лебедин И. Ф., Молотков А. А., Третьякова О. Н. Экспериментальные и теоретические исследования при разработке лазерной технологической установки для 3D-печати	85
Хомутская О. В. Модель прогнозирования деформации печатной платы во время изготовления	87
Туманова М. А., Щербак А. Г. Исследование технологических методов и средств формирования сверхпроводящих тонкопленочных структур на узлах криогенной техники	88
Лебедев Д. А. Уравнения фильтра Калмана для систем второго порядка	89
Державин О. М., Василькова П. Д. Влияние характера доминирующих собственных значений сингулярно возмущенной модели динамической системы на точность метода скользящего детерминанта	91
Державин О. М., Сидорова Е. Ю., Желтов С. С. Особенности построения многотемповых сингулярно возмущенных динамических моделей с неявным представлением возмущения	92
Жандарский И. В., Шихин В. А. Разработка алгоритмов для расчета автономности беспилотного надводного судна	93

Секция 4**НЕЙРОННЫЕ СЕТИ И УСТРОЙСТВА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

<i>Дегилевич Е. А., Кожин В. А., Суббота А. Д., Суриков И. Ю., Тархов Д. А., Терешин В. А.</i> Сравнительное тестирование нейросетевого и полуэмпирического метода на задаче стабилизации перевернутого маятника	95
<i>Тархов Д. А., Боровская О. Д., Седова Ю. С.</i> Сравнительный анализ точности приближенного нейросетевого решения краевой задачи и его зависимости от регенерации точек	96
<i>Дзюбенко И. Н.</i> Модификация выборки для обучения нейронной сети на примере печатных символов	97
<i>Проталинский О. М., Щербатов И. А.</i> Применение нейросетевых технологий в задачах функциональной диагностики сложными техническими системами	98
<i>Тархов Д. А., Бортковская М. Р., Каверзнева Т. Т., Катицин Д. Р., Шишкина И. А., Семенова Д. А., Удалов П. П.</i> Полуэмпирическая модель прогиба реальной мембраны	100
<i>Приказчиков М. А., Соколова О. В.</i> Разработка алгоритма поиска экстремума статической характеристики инерционного объекта с запаздыванием в условиях помех	102
<i>Анисимов Д. Н., Грязнов С. М., Федорова Е. В.</i> Исследование частотных характеристик нечеткого логического регулятора	103

Секция 5**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ И САМООБУЧЕНИЯ**

<i>Александрова Р. И., Казаманов В. А., Романова О. В.</i> Использование лабораторного комплекса для реализации программ дополнительного образования в ЦТПО МИРЭА	105
<i>Неклюдова Г. А., Булавкина Т. А., Евтух Е. С.</i> Применение метода репертуарных решеток в целях исследования мотивации к профессиональной деятельности у студентов технических вузов	107
<i>Алексеев В. В., Соловьев А. А., Шишкин А. А.</i> Методика интеллектуального управления учебно-тренировочным средством в режиме реального времени	108
<i>Алексеев В. В., Соловьев А. А., Шишкин А. А.</i> Сравнительный анализ методик оптимизации 3D-моделей для средств освоения технических систем	110
<i>Аревшатян Э. С., Павлова Н. В.</i> Оценка знаний студентов с использованием системы управления многоуровневого подхода	111
<i>Вережан В. В.</i> Распознавание элементов печатных узлов на рентгеновских изображениях	112
<i>Колбасов В. Н., Мазуров И. С., Мясников А. А.</i> Лабораторный пилотажный стенд для проведения практических и лабораторных работ по направлению: системы автоматического управления (САУ) летательными аппаратами (ЛА)	114
<i>Меркушова К. А., Рыжков А. П.</i> Интеллектуальный анализ данных в задаче определения итоговой оценки по результатам текущего контроля	116
<i>Шишкин А. А.</i> Применение компетентностного подхода при формировании индивидуальной траектории в информационных системах подготовки операторов эрготехнических систем	117

Секция 6**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ РАЗРАБОТКИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРИВОДА**

<i>Дунич Е. А., Пенкин С. С.</i> Автоматизированный подход к получению энергетических характеристик двухфазного вентильного двигателя при управлении с помощью ШИМ-сигнала	119
<i>Залужная Г. А., Загребяев А. М.</i> Математическое моделирование перегрузок топлива в реакторе типа РБМК	120
<i>Слепцов В. В., Аблаева А. Е., Трошин А. А., Комаров А. С.</i> Электропривод с вентильным двигателем для технологического оборудования	121
<i>Щербина В. А.</i> Синтез алгоритма управления электрическим следящим приводом с малоинерционным исполнительным двигателем для автоматизированного нагрузочного стенда	122
<i>Максимов К. В.</i> Синтез алгоритмов комбинированного управления электрическим следящим приводом на основе методов пространства состояний для автоматизированного нагружающего стенда	124
<i>Володин С. В., Сурначев Д. Г., Самсонович С. Л., Чубиков В. Н.</i> Разработка и исследование установки для испытаний самотормозящегося электромеханического привода	125
<i>Межеряков В. Н., Бойков А. И., Пикалов В. В., Ласточкин Д. В.</i> Частотно-параметрическое управление асинхронным двигателем с фазным ротором по цепи ротора	127
<i>Гротова О. Н., Латыпов В. А., Мин Мин Тхо</i> Проектирование и расчет автономных энергетических установок на базе фотоэлектрических преобразователей	129
<i>Кутейникова Е. Н., Самсонович С. Л.</i> Аэродинамика привода на основе диаметральной лопастной машины	130
<i>Бугрова А. Д., Гуров Р. И., Платов И. В.</i> Доработка стенда проведения огневых испытаний двигательных установок	131

<i>Алексеев А. С., Беклемишев Ф. С., Лалабеков В. И., Правидло М. Н., Самсонович С. Л., Тихонов К. М.</i> Анализ последовательной и параллельной работы источника энергии и исполнительного механизма в составе газогидравлической системы катапультирования	133
<i>Селихов А. В., Подмастерьев К. В., Мишин В. В.</i> Разработка метода автоматизированного контроля подвижных деталей автотранспорта	134
<i>Климов И. С., Миронова М. А., Пименов Ю. М., Шайкин Р. О.</i> Особенности управления мультироторной платформой с разделенной нагрузкой	136
<i>Гусев Д. А.</i> Синтез квазиоптимального алгоритма управления электрическим следящим приводом с жесткой механической передачей для автоматизированного нагружающего стенда	137
Секция 7	
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ АВИАКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ	
<i>Григорьев П. Ю., Куланов Н. В.</i> Разработка алгоритмов управления воздушным судном при решении задач вертикальной навигации с применением концепции обратных задач динамики	139
<i>Новичков В. М., Филинов Н. И.</i> Обеспечение автоматического контроля и диагностики технического состояния бортовых систем самолета	140
<i>Лебедев Г. Н., Москалев А. П., Негодин А. Н.</i> Система автоматического контроля безопасности разбега ограниченной длины беспилотного летательного аппарата самолетного типа	142
<i>Лебедев Г. Н., Михайлин Д. А., Царева О. Ю., Гончаренко В. И.</i> Решение задачи маршрутизации полета группы беспилотных летательных аппаратов при соблюдении заданного графика наблюдения наземных пунктов	143
<i>Шатский М. А., Косинский М. Ю., Исаев Д. В.</i> Исследование влияния частоты дискретизации на характеристики цифровой системы стабилизации и ориентации космического аппарата	144
<i>Муравьева А. С.</i> Определение ориентации объекта по многочастотным фазовым спутниковым навигационным измерениям	145
<i>Лебедев А. В., Кеда В. О.</i> Оптимизация процесса угловой стабилизации спутника при воздействии наихудших возмущений во время коррекции орбиты	147
<i>Самарцев Н. С., Колотилов Е. Д., Кошелев Б. В.</i> Задачи самолетовождения, решаемые посредством цифровой линии передачи данных	148
<i>Гусейнов А. Б.</i> Выбор типа системы раскладки несущих поверхностей беспилотного летательного аппарата	150
<i>Жирнов А. В., Тимаков С. Н.</i> Управление ориентацией космического аппарата со структурной неустойчивостью	151
<i>Борзов Н. С.</i> Методики и измерители электризации жидкостей при заправке топливом ЛА	153
<i>Колганов Л. А., Чехов Е. Л., Антонов Д. А.</i> Автомобильный стенд для исследования свойств алгоритмов ориентации, навигации и комплексной обработки информации автономного необитаемого подводного аппарата	154
<i>Лукашова А. Е., Антонов Д. А.</i> Алгоритм контроля целостности параметров вертикального канала воздушного судна	155
<i>Рябинкин М. С., Калинина О. И., Антонов Д. А.</i> Оценка влияния численных методов интегрирования на точность алгоритмов ориентации и навигации подводного аппарата	156
<i>Тумаев М. Д., Колганов Л. А., Антонов Д. А.</i> Исследование свойств малогабаритной комплексной навигационной системы автономных и телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов	157
<i>Чехов Е. Л., Тумаев М. Д., Антонов Д. А.</i> Анализ результатов испытаний комплексной навигационной системы подводных аппаратов с использованием автотранспорта	158
<i>Калинина О. И., Рябинкин М. С., Пронькин А. Н.</i> Комплекс имитации динамических возмущений на базе платформы Стюарта	159
<i>Силаева Т. А., Силаев А. В.</i> Разработка алгоритмов работы бортовой вычислительной системы для управления деформируемым космическим аппаратом	160
<i>Левкина Н. А.</i> Критерии выбора влагозащитного покрытия	161
<i>Туркин И. К.</i> Анализ поведения тонкостенной оболочки вращения при воздействии ударной волны в жидкости	162
<i>Нагорнов А. Ю., Парафесь С. Г.</i> К выбору методов исследования аэроупругой устойчивости беспилотного летательного аппарата	163
<i>Кульков В. М., Егоров Ю. Г., Фирсюк С. О.</i> Анализ схемных решений и оценка эффективности применения малых космических аппаратов с электроракетными двигательными установками	165
<i>Гришин В. М., Ву Чонг Туат</i> Учет допусков в задачах проектирования аэрокосмических систем	167
<i>Заведеев А. И.</i> Исследование динамики системы управления ориентацией космического аппарата с учетом влияния аномальных явлений	168

Секция 8

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ И СЕТЯХ

<i>Лакомов Д. В., Алексеев В. В.</i> Определение оптимальных значений параметров работы алгоритма контурного анализа при обработке изображений в ИК-спектре	170
<i>Белобжеский Л. А., Зименов Н. И.</i> Сетевая информационно-справочная система по космическим приборам и датчикам	172
<i>Йин Наинг Вин.</i> Методика расчета кольцевого микрооптоэлектромеханического преобразователя угловой скорости на основе оптического туннельного эффекта	173
<i>Белоусов М. А., Зобачев Д. Ю., Коффер К. В.</i> Гибкое управление рабочими параметрами волоконно-оптических гироскопов	174
<i>Зобачев Д. Ю., Ивишина Ю. В., Морозов А. Е., Ульяновская Т. А.</i> Особенности калибровки акселерометров навигационного класса точности	176
<i>Ивишина Ю. В., Ульяновская Т. А., Зобачев Д. Ю.</i> Применение дополнительной калибровки для повышения точности инерциальных навигационных систем	178
<i>Колеватов А. П., Ульяновская Т. А.</i> Классификация дефектов теплового дрейфа волоконно-оптического гироскопа по результатам испытаний бесплатформенной инерциальной навигационной системы при изменении температуры	179
<i>Жарков Р. В., Кузнецов И. М.</i> Алгоритм обнаружения отказов функционально избыточной бесплатформенной инерциальной навигационной системы	181
<i>Бусурин В. И., Жеглов М. А., Коробков К. А.</i> Разработка преобразователя ускорений на эффекте оптического туннелирования	182
<i>Арискин Е. О., Миннебаев М. Р.</i> Основы построения системы измерения параметров вектора ветра на стартовых и взлетно-посадочных режимах вертолета	183
<i>Герасимов С. И., Желбаков И. Н.</i> Повышение эффективности корреляционной обработки зондирующих сигналов ультразвукового жидкостного расходомера	184
<i>Ефремова Е. С., Солдаткин Р. В.</i> Основы построения вихревой системы измерения высотно-скоростных параметров дозвукового летательного аппарата	186
<i>Еlicheва Е. А., Лупачев А. А.</i> Анализ интервальных критериев окончания переходного процесса в измерительной цепи	188
<i>Никитин А. В., Солдаткин В. В., Солдаткин В. М.</i> Особенности построения и алгоритмы обработки информации измерительно-вычислительной системы воздушных сигналов самолета с неподвижным невыступающим приемником потока	189
<i>Соколов Л. В.</i> Новые технические решения в перспективном датчике абсолютного давления для электронных систем самолетов	191
<i>Солдаткин В. М., Солдаткин В. В., Никитин А. В.</i> Методологические основы построения системы воздушных сигналов самолета с неподвижным невыступающим приемником набегающего воздушного потока	192
<i>Шатохин А. А., Чумаченко Д. А.</i> Алгоритм расчета показателей качества электроэнергии в однофазной электросети	194
<i>Боярская Ю. Е., Лемак С. С.</i> Максимальное тестирование полета дельтаплана в вертикальной плоскости при наличии возмущений	195
<i>Бугров Д. И., Лемак С. С., Прохорова А. Д.</i> Тестирование качества разрушения нежелательного устойчивого режима движения летательного аппарата	196
<i>Канаев С. А., Антонов И. И., Москаленко О. В.</i> Микропроцессорный электронный блок для весоизмерительного устройства	197
<i>Жарков Р. В., Жарков М. В.</i> Результаты применения мобильной лаборатории испытаний навигационных систем	198
<i>Костыгов Д. В., Колесов Н. В.</i> Разработка цифровых блоков интегральных схем для инерциальных микромеханических датчиков	199
<i>Саурский И. В.</i> Оценка времени на разработку программного обеспечения встроенных систем путем использования чек-листов	201
<i>Степанов О. А., Васильев В. А., Торопов А. Б., Носов А. С.</i> Нижняя граница точности оценивания неизвестных параметров по измерениям полиномиального типа	202

Смирнов М. Р., Исянов Р. Н., Саул Е. Н. Фильтрация входной информации динамического датчика в информационно-измерительной системе	204
Глушнев В. Д., Герасимов С. И., Панов М. М. Влияние динамических характеристик электроакустического тракта на точность ультразвуковых расходомеров	206
Калинина Г. А., Мороховец Ю. Е. Об организации многопроцессорных вычислительных систем на основе двухкольцевого ротационного коммуникатора	207
Лупачев А. А., Ходырева В. С. Анализ применения интервального критерия установившегося значения в измерительной цепи на примере динамического звена второго порядка	209
Серов А. Н., Костина А. А., Левашов И. В. Влияние девиации частоты электросети на погрешность измерения СКЗ	210
Иваненко К. А. Проектирование средств измерений показателей качества электроэнергии	211
Коломийчук С. А., Афонин А. А., Сулаков А. С., Ямашев Г. Г. Усовершенствованный навигационный комплекс самолета дальней авиации для работы в условиях ограниченной доступности спутниковых навигационных измерений	212
Шапалов Н. А., Афонин А. А., Сулаков А. С., Нгуен Хонг Куан. Навигационный комплекс самолета дальней авиации с использованием элементов корреляционно-экстремальной навигации по гравитационному полю	214
Парфенов Н. М. Анализ современных датчиков физических величин	215
Пономарев С. В., Буланов Е. В., Буланова В. О., Дивин А. Г. Моделирование измерения теплофизических свойств теплоизоляционных материалов методом линейного импульсного источника теплоты	216
Секция 9	
НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ РАЗНОФОРМАТНОЙ И РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ	
Кирьянова В. С., Тихомиров С. Г. Математическое моделирование процесса пиролиза	218
Бусурин В. И., Кудрявцев П. С., Лю Чжэ. Исследование системы прогноза бесконтактного сканирующего профилометра	219
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	220
Лакомова В. В., Яковлев А. В. Аппаратная реализация мандатного разграничения доступа на основе RFID-технологии	221
Лебедев Г. Н., Гончаренко В. И., Румакина А. В. Задача логического управления маршрутным полетом беспилотного летательного аппарата	223
Моторин А. В., Степанов О. А., Титов Р. У. Задача совместной навигации и картографирования с использованием геофизических полей	224
Носов А. С., Степанов О. А., Носова А. О. Методика выбора информативных участков маршрута в задаче навигации с использованием карты	226
Поплавский Б. К., Данилевич Е. В., Сироткин Г. Н. Инвариантные методы обработки полетной информации	228
Соболева А. Г., Сидорова Е. Ю. Реализация непрерывной интеграции работы системы автоматизированного тестирования и создание отчетов о результатах прохождения тестов	229
Ткачев С. С. Обзор и анализ LPWAN-технологий, использующих случайный множественный доступ типа Алоха (SigFox и LoRa)	230
Абакишина П. П., Титов Д. А. Ранжирование текстов при проведении тематического поиска в сети Интернет	231
Данилкина А. С., Титов Д. А. Разработка приложения для тестирования универсального модуля авторизации распределенных систем документооборота	233
Тихомиров Г. С., Задорожний В. Г. Модели боевых действий	234
Ханыков И. Г. Типовая блок-схема аппроксимации изображений иерархией приближений	235
Харин Е. Г., Копылов И. А., Копелович В. А., Якушев А. Ф., Ильин В. Б., Минченкова К. С. Обеспечение летных испытаний инерциально-спутниковых навигационных систем	237
Чернышова Т. И., Курносов Р. Ю., Каменская М. А. Информационно-аналитическая система оценки метрологической надежности электронных измерительных средств	239
Буланов Е. В., Буланова В. О., Пономарев С. В., Дивин А. Г. Моделирование измерения теплофизических свойств твердых материалов методом плоского импульсного источника теплоты	241

Секция 10

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИКЛАДНОЙ И ГУМАНИТАРНОЙ СФЕРЕ

<i>Матвеева А. А.</i> Исследование метода компрессии второго компонента стереопары при сохранении и передаче 3D-видео и одиночных изображений	243
<i>Соколова Ю. В.</i> Синтез дискретных фильтров методом инвариантных дифференциальных уравнений	244
<i>Карманов А. В., Тихомиров С. Г.</i> Моделирование процесса деструкции бутиловых резин под действием ионизирующих излучений	245
<i>Зве Маунг Маунг</i> Определение температуры вершины сверла при сверлении отверстий в печатных платах	246
<i>Филина М. А., Кузнецова Е. А., Потапова Е. В.</i> Использование метода лазерной доплеровской флоуметрии в клинической практике дерматолога для динамической оценки состояния микроциркуляторного русла при псориазе	248
<i>Шуплецов В. В., Мезенцев М. А., Козлов И. О., Дремин В. В.</i> Оценка изменения кровенаполнения и сатурации методом гиперспектральной визуализации	249
<i>Локтионова Ю. И., Жарких Е. В., Жеребцова А. И., Дунаев А. В.</i> Исследование показателей гемомикроциркуляции конечностей при асимметричной окклюзионной пробе	250
<i>Мезенцев М. А., Шуплецов В. В., Потапова Е. В.</i> Исследование особенностей кожной микроциркуляции при локальном давлении методом лазерной доплеровской флоуметрии	252
<i>Хряпинский Е. В., Подмастерьев К. В., Яковенко М. В.</i> Проверочное исследование объективной реакции головного мозга на ароматический раздражитель	253
<i>Певзнер Л. Д., Ким М. Л., Полуэктов Д. С.</i> Моделирование движения беспилотного летательного аппарата в условиях подземных шахтных выработок	255
<i>Александров В. В., Бугров Д. И., Миронова А. В.</i> Оценка длительности гальванической стимуляции в модели возбуждения активности афферентного первичного нейрона	256
<i>Бугров Д. И., Формальский А. М.</i> Границы областей достижимости линейных стационарных систем	257
<i>Калачева И. А., Малкова Е. А., Мясников А. А.</i> Самоходный поисковый комплекс для определения местонахождения пострадавших во взрывоопасных ограниченных пространствах с возможностью построения топологии в трех координатных плоскостях	258
<i>Шихин В. А., Гулина И. А.</i> Прогнозирование цен электроэнергии на рынке «на сутки вперед»	260
<i>Шуленина Н. Э.</i> О возможности коррекции информационного процесса для системы бионавигации человека	261
<i>Решетова О. О.</i> Уравнение Дуффинга с гистерезисной нелинейностью	262
<i>Канаев С. А., Конькова А. С., Молозина М. Ю., Москаленко О. В., Торчинская А. В.</i> Особенности схемной реализации и конструктивного исполнения мобильного спирометрического комплекса	264
<i>Парамонов А. П., Валентинова Ю. О.</i> Модели применения формализованных экспертных оценок при решении прикладных задач управления	265
<i>Толкачев А. В.</i> Фильтрующие свойства системы синус-Гордона с гистерезисными связями	267
<i>Аринчехина Ю. А., Мишулина О. А.</i> Обработка данных фМРТ для выявления индивидуальных паттернов активности мозга в когнитивном эксперименте	268
<i>Климова Е. А., Мальшева Н. В., Исянов Р. Н., Сазонов В. В.</i> Программный пакет для нелинейного анализа временных рядов медицинских данных	269
<i>Ахмедов И. А., Худак Ю. И.</i> Математический аппарат для решения оптимизационных задач просветления оптики	270
<i>Чернышов А. В.</i> Оценка вероятности выхода из строя оптического диска DVD-R с записью по результатам натурального эксперимента	272

Научное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ, АВТОМАТИКИ И
ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ**

XXVII Международная научно-техническая конференция

Сборник трудов

Инженеры по компьютерному макетированию –
И. В. Евсеева, Т. Ю. Зотова, М. Н. Рыжкова
Редакторы – И. В. Калистратова, Л. В. Комбарова

ISBN 978-5-8265-1922-6



Подписано в печать 21.08.2018.

Тираж 500 шт. Заказ № 193

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.
Телефон (4752) 63-81-08, 63-81-33.
E-mail: izdatelstvo@admin.tstu.ru

Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392008, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112А
Телефон (4752) 63-07-46