

# СОДЕРЖАНИЕ

## ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

**Абрамов О. В.**

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ..... 3

**Хади О. Ш., Литвинов А. Н.**

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ СТРУКТУР  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
В ПРОЦЕССЕ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ..... 8

## ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И БОЕВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРУЖИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

**Северцев Н. А.**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ  
ДИСПЕРСИИ СЛУЧАЙНЫХ ФУНКЦИЙ ХАРАКТЕРИСТИК  
СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ..... 16

## ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

**Полтавский А. В.**

МЕТОДЫ КОГЕРЕНТНОГО КОНТРОЛЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ..... 22

**М. Ю. Паршуков**

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ  
ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ ..... 32

**Маркелов В. В., Власов А. И., Зотьева Д. Е.**

АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ВХОДНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ  
ПРИ УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ  
В СРЕДЕ MATLAB ..... 38

**Малинин Д. Д., Шаралапов А. Е.**

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНОЙ  
ПЛАТФОРМЫ ПУТЕМ КОРРЕКЦИИ GPS СИГНАЛА ФИЛЬТРОМ КАЛМАНА ..... 44

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

**Лысенко А. В., Таньков Г. В., Шаркунова Т. А.**

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ  
ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
АКТИВНОЙ ВИБРОЗАЩИТОЙ РЭУ ..... 50

**Калиниченко А. Я., Фесечко А. И.**

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ БЕСКОНТАКТНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ  
КОНТРОЛЛЕРОВ МАШИНИСТА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ..... 57

**Н. К. Юрков, А. В. Затылкин, Д. А. Голушко**  
МОДУЛЬ СОПРЯЖЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНОЙ  
ВИБРОИСПЫТАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ  
С ПРОГРАММНОЙ СРЕДОЙ УПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯМИ ..... 62

**Кострикина И. А., Ишков А. С., Галкина Е. Н.**  
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ  
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ..... 67

## **МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ**

**Дедков В. К.**  
АНАЛИЗ ПРОБЛЕМНОЙ СИТУАЦИИ И РАЗРАБОТКА  
МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ..... 74

## **НАДЕЖНОСТЬ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Садыков С. С., Беякова А. С.**  
МЕТОДИКА РАСШИРЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ  
ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «КАРДИОВИЗОР-06С»..... 79

**Садыков С. С., Буланова Ю. А., Захарова Е. А.**  
АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТИ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ  
НА ФОНЕ ФИБРОЗНО-КИСТОЗНОЙ МАСТОПАТИИ..... 86

**Куатов Б. Ж.**  
ОЦЕНКА УРОВНЯ НАВЫКОВ КУРСАНТОВ ЛЕТНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ..... 94

# ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

УДК 62-192

## АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

О. В. Абрамов

События последних лет указывают на настоятельную необходимость анализа, статистики чрезвычайных происшествий и тенденций их роста. Казалось бы, эта проблема должна стать предметом рассмотрения на самом высоком уровне государственного управления (вспомним, как проблема надежности объявлялась в США национальной проблемой № 1). Печально, но в нашей стране какая-то государственная политика по проблеме надежности не просматривается, хотя в числе недостаточно надежных зачастую оказываются системы критических приложений [1], нарушение функционирования которых непосредственно приводит к ослаблению безопасности государства.

Государственная программа развития электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013–2025 гг., утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 15 декабря 2012 г. № 2396-р, носит комплексный характер и отражает общесистемное развитие электроники и радиоэлектроники на долгосрочную перспективу с учетом мероприятий, реализуемых в рамках федеральных целевых программ и научно-технических программ. Программа в полной мере отвечает задаче создания технологического базиса электроники и радиоэлектроники нового уровня для разработки конкурентоспособной электронной компонентной базы, аппаратуры, комплексов и систем специального и гражданского назначения и предусматривает выполнение мероприятий по научно-техническому развитию, техническому перевооружению предприятий, оптимизации производственно-технологических ресурсов. Эффективная реализация **программы** развития требует рационального использования временных, интеллектуальных и материальных ресурсов, дальнейших институциональных преобразований и корпоративного строительства, кластерного регионального развития, мер государственной поддержки предприятий, развития государственно-частного партнерства, реализации комплекса непрограммных мероприятий, мер по сохранению и развитию кадрового потенциала отрасли, а также инициативы предприятий.

Предусмотрено три этапа реализации программы: первый этап 2013–2015 гг.; второй этап 2016–2020 гг.; третий этап – 2021–2025 гг.

В рамках реализации Программы предприятия радиоэлектронного профиля (РЭП) успешно осуществляют выполнение заданий федеральных целевых программ: «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на 2008–2015 годы», «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы», «Развитие оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации на 2011–2020 годы» и подпрограммы «Создание электронной компонентной базы для систем, комплексов и образцов вооружения, военной и специальной техники на 2011–2020 годы», «Разработка, восстановление и организация производства стратегических, дефицитных и импортозамещающих материалов и малотоннажной химии для вооружения, военной

и специальной техники на 2009–2011 годы и на период до 2015 года» и научно-технических программ Союзного государства.

По договорам с Департаментом радиоэлектронной промышленности в 2013 г. выполняется более 1000 НИОКР на сумму более 22 млрд руб., в которых решаются вопросы по созданию, развитию и внедрению технологий радиоэлектроники по направлениям вычислительных, телекоммуникационных и радиотехнических систем, электронной компонентной базы, включая современные технологии ее проектирования, производства и создание аппаратурно-ориентированной электронной компонентной базы типа «система на кристалле», а также выполняются работы по созданию конкретных изделий электронной аппаратуры для спецтехники.

В отрасли выработан и реализуется комплекс мер, направленных на экономическую стабилизацию и дальнейшую технологическую модернизацию предприятий, развитие современных радиоэлектронных технологий, включающий меры по обеспечению спроса на радиоэлектронную продукцию, общесистемные меры по стабилизации финансового состояния предприятий и меры, направленные на техпервооружение, поддержку перспективных инновационных проектов. При этом особое внимание уделяется повышению координации использования выделяемых средств как в рамках каждой Федеральной целевой программы, так и между программами, концентрации усилий на реализации наиболее приоритетных направлений.

Ряд изделий радиоэлектронной промышленности конкурентоспособен на мировом рынке, а некоторые не имеют зарубежных аналогов. Из экспортируемых вооружения и военной техники можно выделить зенитные ракетные комплексы, радиолокационные станции противовоздушной обороны, бортовые радиолокационные станции и головки самонаведения, комплексы радиоэлектронной борьбы, радиолокационные комплексы дальнего обнаружения и разведки воздушного базирования. Из разработок гражданского назначения следует отметить оборудование цифрового телевидения, средства радиочастотной идентификации, навигационную аппаратуру, медицинскую технику, средства и комплексы для Единой системы организации воздушного движения, оборудование для топливно-энергетического и агропромышленного комплексов, программное обеспечение и др.

Развитие производственных мощностей для выпуска радиоэлектронной продукции в отрасли осуществляется за счет поэтапного широкомасштабного технического перевооружения предприятий. Только в текущем году бюджетные инвестиции составляют более 19 млрд руб., осуществляется модернизация производства и техническое перевооружение 2021 предприятия отрасли, в том числе создается семь дизайн-центров.

Основой стратегии развития РЭП является комплексная модернизация предприятий отрасли (техническая, технологическая, информационная и кадровая), переход к инновационному пути развития на основе избранных приоритетов, повышения инновационной активности, разработки и внедрения новых технических средств и передовых современных технологий с целью увеличения объемов продаж продукции и завоевания новых секторов рынка.

Конечно, у нас издаются журналы по проблеме надежности, проводятся научные и научно-практические конференции, но публикуемые статьи и материалы конференций не привлекают внимание тех, кто отвечает за надежность техники и безопасность населения в масштабах государства.

Вот уже почти 20 лет в г. Пенза проходит ежегодный Международный симпозиум «Надежность и качество». В числе его участников (докладчиков и слушателей) многие известные ученые, преподаватели, соискатели ученых степеней, студенты, члены редколлегии научных журналов, представители некоторых предприятий. Нет только «эффективных менеджеров» (ЭМ), а ведь именно они и определяют сегодня в нашей стране политику в области надежности. Материалы симпозиума представлены в базе данных РИНЦ, но цитируемость публикаций невелика. Те же, кто отвечает за надежность и безопасность и должен быть генератором (или хотя бы проводником) идей по повышению уровня надежности и обеспечения безопасности, не находят время не только для посещения научных мероприятий в этой области, но хотя бы для чтения публикаций.

Чтобы не возникла мысль о том, что отсутствие должного внимания связано с недостаточно высоким научным и прикладным уровнем симпозиума, приведем пример 6-й Международной конференции «Математические методы теории надежности» (6<sup>th</sup> Intern. Conf. «Mathematical Methods in Reliability: Theory, Methods, Applications – MMR2010»), которая впервые проводилась в

нашей стране в г. Москва. Несмотря на очень высокий научный уровень этой конференции, публикацию не только трудов конференции, но и лучших докладов в солидном журнале «Автоматика и телемеханика», она также не привлекла внимание ЭМ.

Проблема надежности перестала существовать в нашей стране с приходом к руководству министерствами, корпорациями, предприятиями и организациями младореформаторов, целью деятельности которых стало извлечение максимальной (и сиюминутной) прибыли.

Было бы неверно утверждать, что государство полностью устранилось от решения этой проблемы. В ноябре 2013 г. прошли слушания в Общественной палате РФ на тему «Научные и инновационные подходы к решению проблем предупреждения аварийных ситуаций на объектах ответственного назначения».

В начале августа 2013 г. вице-премьер по оборонной промышленности Д. Рогозин на заседании комиссии по расследованию аварии ракеты «Протон-М» подверг резкой критике структуру и работу российской ракетно-космической отрасли. По мнению вице-преьера, отсутствуют четкие цели, структура плохо управляется, на предприятиях сохраняется низкая технологическая дисциплина. Был поставлен вопрос об объединении усилий космической и авиационной промышленности и создании Объединенной ракетно-космической корпорации, в которую вошли все предприятия отрасли, а за Роскосмосом остались функции контролирующего федерального органа исполнительной власти. По мнению Д. Рогозина, «проблем в ракетно-космической промышленности так много, что правительство просто не вправе предоставлять отрасли возможность в них разобраться по своему усмотрению. Здесь нужна постоянная помощь, чтобы, наконец, разорвать порочный круг аварий и неудач, которые с такой досадой обсуждаются всем нашим обществом». Был поставлен вопрос о создании центров закупки и сертификации станочного оборудования в Объединенной ракетно-космической корпорации, Объединенной судостроительной корпорации, Объединенной авиастроительной корпорации и ряде других структур.

Вместе с тем не вызывает сомнения необходимость комплексного системного подхода к решению проблемы обеспечения надежности и безопасности. Необходима, на наш взгляд, Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям повышения надежности, снижения аварийности и обеспечения безопасности сложных систем» (название условное). Такая программа позволила бы обозначить основы государственной политики в данном научном и прикладном направлении, объединить усилия специалистов-профессионалов, обозначить концепцию и методологию решения проблемы надежности в современных условиях.

При разработке и в процессе реализации такой программы было бы оправданным использовать накопленный в советские времена опыт организации работ по проблеме надежности. Можно вспомнить создание в НИИ, КБ и на предприятиях отделов и служб надежности, организацию при Госстандарте СССР Научно-технического совета по проблеме надежности, Кабинета надежности и качества при Московском политехническом музее. Научным руководителем Кабинета был выдающийся ученый-математик Б. Гнеденко. Здесь проводились ежедневные консультации для инженеров-разработчиков и специалистов служб надежности, а раз в две недели две двухчасовые лекции в главной аудитории музея. К проведению консультаций и чтению лекций привлекались высококвалифицированные специалисты, как опытные инженеры (А. Аристов, Б. Бердичевский, Э. Дзиркал, И. Ушаков и др.), так и математики (Ю. Беляев, В. Каштанов, А. Соловьев, Ю. Шор и др.). В Москве регулярно работал семинар при секции надежности Научного совета по кибернетике АН СССР, руководимый академиком Н. Бруевичем.

Своевременным было бы создание Всероссийской ассоциации ученых и специалистов в области надежности и качества, задачами которой могли бы стать:

- консолидация ученых нашей страны, ближнего и дальнего зарубежья, представителей промышленности, молодых ученых и специалистов, соискателей и аспирантов, создание условий для их профессионального общения и обмена опытом;
- активное участие в обсуждении стратегических проблем надежности и качества и разработке путей их разрешения;
- обеспечение взаимодействия с родственными по духу Ассоциациями с целью обсуждения общезначимых проблем и выработке по ним согласованных совместных решений;
- обеспечение системного взаимодействия ученых, представителей промышленности, специалистов и преподавателей вузов с представителями заинтересованных министерств и ведомств с целью подъема значимости проблем надежности и качества и нахождении путей их разрешения.

Подобные объединения специалистов существуют во многих странах, например, European Safety and Reliability Association (ESRA), The Korean Reliability Society (KORAS), Reliability Engineering Association of Japan (REAJ), Reliability, Availability, Maintainability, and Safety Professionals Society of Canada (RAMSP) и др. В нашей стране тоже существовала «Ассоциация специалистов в области надежности», которую возглавлял Б. Гнеденко.

Не лишним было бы использовать и опыт создания в нашей стране системы обеспечения надежности и качества выпускаемой продукции. Можно вспомнить саратовскую систему бездефектного изготовления продукции, горьковскую систему обеспечения высокого качества, надежности и ресурса, получившую название «Канарспи» и ряд других.

Программа, безусловно, должна учитывать современные тенденции развития не только теории надежности и безопасности, но также состояние и перспективы развития технологического комплекса (технических средств, информационных технологий и др.). В качестве проблемных модулей программы можно рекомендовать создание баз (банков) данных по надежности технических объектов, методов оптимального проектирования и автоматизации проектирования с учетом требований надежности и безопасности, ориентированных на использование современных технологий параллельных, распределенных и облачных вычислений, методов управления техническим состоянием (планирования эксплуатации) сложных технических систем [1, 2].

Особое внимание заслуживает, на наш взгляд, проблема предотвращения отказов объектов ответственного назначения [3, 4], методов мониторинга их технического состояния и прогнозирования процессов приближения отказов, а также учета влияния человеческого фактора на аварийность (обеспечение надежности и безопасности эргатических систем [5]).

События последнего времени, связанные с санкциями ряда государств в отношении нашей страны, и как реакция ориентации отечественной промышленности на замещение зарубежных поставок продукцией собственного производства еще раз свидетельствуют о своевременности поставленных в данной работе вопросов [6].

#### *Список литературы*

1. Концепция управления состоянием сложных технических комплексов за пределами плановых сроков эксплуатации / И. В. Бармин, Р. М. Юсупов, В. Е. Прохорович, А. И. Птушкин // Информационные технологии. – 2000. – № 5. – С. 2–7.
2. Абрамов, О. В. Управление состоянием сложных технических систем / О. В. Абрамов // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2010. – Т. 1. – С. 24–26.
3. Абрамов, О. В. Условия и источники возникновения техногенных чрезвычайных (аварийных) ситуаций / О. В. Абрамов // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2012. – Т. 1. – С. 41–45.
4. Абрамов, О. В. К проблеме предотвращения аварий технических объектов ответственного назначения / О. В. Абрамов // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 1. – С. 11–16.
5. Губинский, А. И. Надежность и качество функционирования эргатических систем / А. И. Губинский. – Л.: Наука, 1982.
6. Абрамов, О. В. Существует ли в нашей стране проблема надежности? / О. В. Абрамов // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2014. – Т. 1. – С. 5–6.

**УДК 62-192**

**Абрамов, О. В.**

**Актуальность проблемы обеспечения надежности** / О. В. Абрамов // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 3–7.

**Абрамов Олег Васильевич**

доктор технических наук, профессор,  
начальник отдела надежности и качества,  
Учреждение Российской академии наук,  
Институт автоматизации  
и процессов управления ДВО РАН  
(690041, Россия, г. Владивосток, ул. Радио, 5)  
E-mail: abramov@iacp.dvi.ru

**Abramov Oleg Vasil'evich**

doctor of technical sciences, professor,  
the division head of reliability and quality,  
The establishment of the Russian academy of sciences,  
Institute of automation and control processes  
DVO Russian Academy of Science  
(690041, 5 Radio street, Vladivostok, Russia)

**Аннотация.** Наблюдаемый в последние годы высокий уровень чрезвычайных происшествий техногенного характера, аварий и катастроф, приведших к большим материальным потерям и человеческим жертвам, ставит вопрос о необходимости Федеральной целевой программы, направленной на исследования и разработки по приоритетным направлениям повышения надежности, снижения аварийности и обеспечения безопасности сложных технических систем.

**Ключевые слова:** авария, отказ, надежность, безопасность, программа, человеческий фактор, прогнозирование, управление по-прежнему.

**Abstract.** High level of emergencies of technogenic character observed in last years, failures and the accidents which have led to the big material losses and human victims, brings an attention to the question on necessity Federal target the program, directed on researches and workings out in priority directions of increase of reliability, decrease in breakdown susceptibility and safety of complex engineering systems.

**Key words:** accident, failure, reliability, safety, the program, the human factor, forecasting, management.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ СТРУКТУР ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА**

**О. Ш. Хади, А. Н. Литвинов**

Проблема обеспечения безопасности является одной из приоритетных в настоящее время, так как тесно связана с проектированием современных изделий, представляющих сложные технические объекты, и обеспечением требуемых тактико-технических характеристик (ТТХ) изделий [1].

Одной из важнейших задач развития научных основ конструирования и технологии изготовления изделий различного назначения является создание адекватных математических моделей, описывающих поведение и состояние конструкций и их отдельных элементов в процессе их производства, испытаний, транспортировки, хранения и эксплуатации.

Нарастающая сложность конструкций изделий различного назначения приводит к серьезным экономическим потерям в производстве и эксплуатации, а в ряде случаев приводит к катастрофам и человеческим жертвам [2]. Анализ отказов изделий и их составных частей позволяет утверждать, что одной из основных причин снижения их надежности, полных или частичных отказов являются процессы, происходящие в соединениях разнородных материалов под действием внешних и внутренних дестабилизирующих факторов. При этом основными являются статические, динамические и тепловые воздействия, возникающие на всех стадиях жизненного цикла изделия (технологические операции в производстве, испытания, хранение, транспортировка, эксплуатация) [3].

Анализ конструктивных особенностей современных изделий и их составных частей показывает, что большинство из них предоставляет собой гетерогенные структуры, сочетающие в себе материалы с различными физико-механическими свойствами, обеспечивающими требуемую прочность, надежность и безопасность изделия в заданных режимах эксплуатации [4]. К таким изделиям относятся конструкции радиоэлектронной аппаратуры, систем и блоков автоматики, аппаратуры связи, датчиков различного назначения, конструктивных элементов в авиа-, судо- и ракетостроении, а также изделия специального назначения.

Для исследования процессов, происходящих в структурах этих изделий под действиями внешних факторов, необходима разработка математических моделей и комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительных экспериментов, позволяющих адекватно описывать процессы и их напряженно-деформированное состояние (НДС) на всех этапах жизненного цикла. При этом желательно, чтобы эти модели и комплексы программ обладали свойствами формализации, что позволяло бы применять их к широкому кругу конструктивных элементов и конструкций в целом. Такой подход использован в работах [3–6]. В частности, в [3] рассмотрены прикладные математические модели, основанные на механике многослойных конструкций в виде пластин и оболочек различной конфигурации, подверженных динамическим и тепловым воздействиям. Эти модели можно рассматривать как обобщенные в рамках принятых гипотез, так как они позволяют исследовать НДС достаточно широкого круга изделий, содержащих слоистые структуры.

В работе [5] разработаны математические модели и программное обеспечение для исследования динамических процессов контактных систем с целью обеспечения виброустойчивости приборных устройств, содержащих контактные пластины, находящиеся как в замкнутом, так и в разомкнутом состоянии. Предложенная математическая модель и разработанное программное обеспечение являются достаточно формализованными, так как позволяют исследовать динамические характеристики контактных пластин широкого класса: пластин постоянного и переменного

поперечных сечений, находящихся в замкнутом или разомкнутом состоянии и имеющих промежуточные упругие опоры. При этом взаимное расположение упругих опор и массы контакта является произвольным. Моделирование позволяет определить резонансные частоты и предельные значения виброперегрузок, вызывающие замыкание разомкнутых и размыкание замкнутых контактных пластин, что приводит к несанкционированному срабатыванию приборных устройств, существенному снижению надежности или полному отказу изделий. Для формализации математической модели все численные исследования выполняются с использованием безразмерных параметров, что позволяет распространять результаты численного моделирования и рекомендации по повышению виброустойчивости на широкий класс контактных систем приборов различного назначения, подверженных воздействию вибрационных нагрузок.

В работе [6] предложена математическая модель, позволяющая исследовать НДС корпусов микросборок в процессе их изготовления и эксплуатации при воздействии на них избыточного внешнего давления. Математическое моделирование НДС таких корпусов позволило дать практические рекомендации по их проектированию, а также предложить достаточно простую инженерную методику определения предельно допустимого давления технологической опрессовки корпусов микросхем в процессе их производства. Проведенные исследования позволили дать практические рекомендации по проектированию термостабильных микросхем [7, 8].

Бурное развитие техники приводит к конструкторско-технологическому усложнению изделий при условии повышения их надежности и ТТХ в сложных условиях эксплуатации. Это приводит к необходимости дальнейшей формализации и усложнения математических моделей, позволяющих адекватно описывать поведение и состояние элементов и конструкций изделий в целом на всех этапах их жизненного цикла.

Рассмотрим это на примере микросборок прямоугольного типа, имеющих широкое практическое применение в приборостроении, радиоэлектронных системах и изделиях специального назначения. На одной или нескольких гранях внутри микросборки размещаются платы и резистивные элементы, обеспечивающие требуемые выходные параметры и метрологические характеристики микросборки.

Эти микросборки представляют собой многослойные системы, которые в процессе их изготовления и эксплуатации подвергаются различным тепловым и механическим воздействиям. Для проверки герметичности при изготовлении они подвергаются технологической опрессовке внешним избыточным давлением, под действием которого происходит деформация граней корпуса и плат с резистивными элементами, что вызывает изменение их выходных электропараметров. Величина этого давления устанавливается в КД либо назначается технологической службой, причем очень часто без предварительного анализа НДС микросборки и ее элементов. Это в ряде случаев приводит к возникновению пластических деформаций граней корпуса, его короблению, а также растрескиванию плат уже на стадии изготовления микросборки. Наличие пластических деформаций в дальнейшем приводит к отказам или нарушению работоспособности микросборок в процессе воздействия на них внешних эксплуатационных нагрузок.

Моделирование НДС таких структур является достаточно сложной задачей, поэтому для анализа их НДС часто используют приближенные методы, например, в работе [6] расчетная модель основана на анализе НДС развертки корпуса. Наличие платы на одной или нескольких гранях корпуса учитывается введением приведенных характеристик для грани, которая является многослойной структурой. Взаимное влияние граней корпуса на НДС платы, как правило, не учитывается, что не позволяет адекватно моделировать состояние изделия.

На рис. 1 показана типовая конструкция полой микросборки прямоугольного типа с платой, которая связана с основанием клеевым или паяным швом.

Замкнутый прямоугольный корпус с размерами  $2a \times 2b \times H$  подвергается воздействию внешнего избыточного давления  $p$ . В общем случае считается, что грани корпуса микросборки изготовлены из различных материалов, механические свойства которых характеризуются модулями упругости  $E_j$  и имеют толщины  $h_j$ , где  $j = 1, 2, \dots, 6$  – номер грани. Для определенности будем считать, что  $j = 6$  соответствует крышке корпуса,  $j = 1$  – основанию с платой,  $j = 2 \dots 5$  – боковым стенкам корпуса;  $2a_n \times 2b_n$  – размеры платы в плане,  $h_n$  – ее толщина. Шов имеет толщину  $h_{ш}$ . Начало координат расположено в центре основания корпуса микросборки. Материал платы характеризу-

ется модулем упругости  $E_n$  коэффициентом Пуассона  $\nu_n$ , а материал шва – модулем сдвига  $G_{ш}$  и коэффициентом Пуассона  $\nu_{ш}$ .

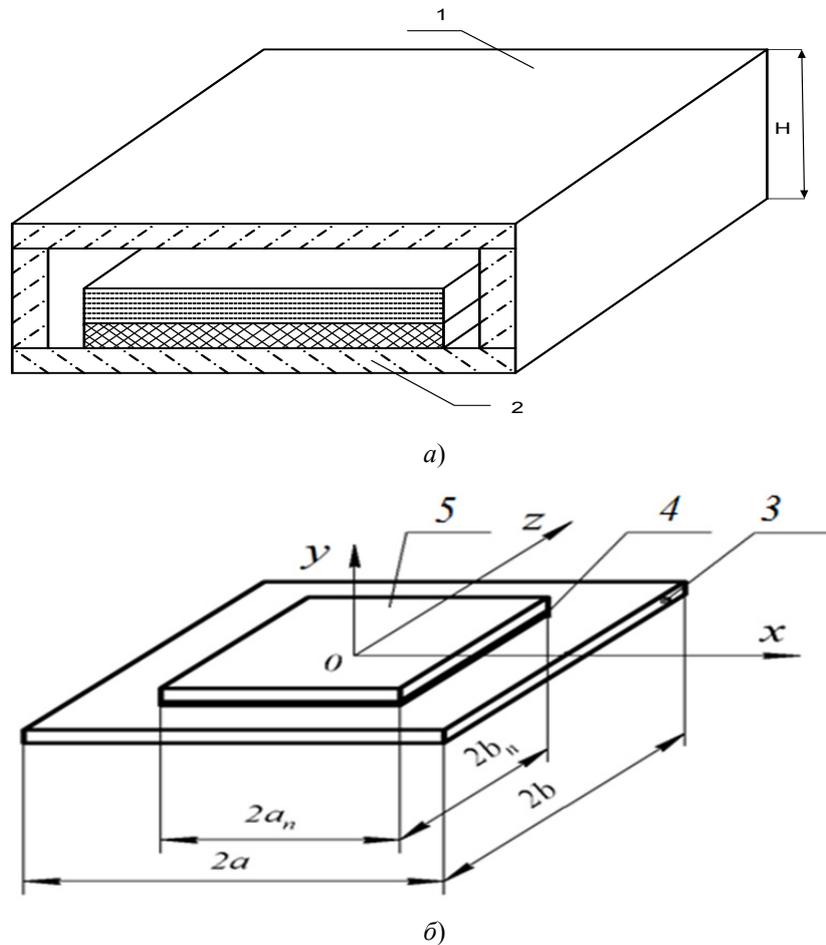


Рис. 1. Микросборка:  
 а – общий вид: 1 – корпус; 2 – основание с платой;  
 б – основание с платой: 3 – основание; 4 – шов; 5 – плата

Для построения адекватной пространственной модели, позволяющей анализировать НДС элементов гетерогенной структуры микросборки, используем метод конечных элементов, реализованных в пакете ANSYS. Такая модель позволяет учитывать взаимное влияние граней корпуса, реальные размеры платы и ее места расположения на основании, а также влияние физико-механических характеристик применяемых материалов платы, шва и граней корпуса. Кроме этого, модель позволяет учитывать наличие внутри корпуса нескольких многослойных плат, в том числе расположенных на разных гранях корпуса, что может приводить к отсутствию симметрии в конструкции микросборки. Разбиение гетерогенной структуры на конечные элементы осуществляется автоматически для каждого элемента (грани корпуса, шов, плата и т.д.) трехмерной модели микросборки с учетом заданной погрешности расчета.

В качестве примера приведем некоторые результаты численного моделирование НДС элементов микросборки при действии избыточного внешнего давления  $p$ . Корпус изготовлен из сплава 29НК ( $E_j = 1,4 \cdot 10^5$  МПа,  $\nu_j = 0,3$  при  $j = 1, 2, \dots, 6$ ), плата – из ситалла ( $E_n = 9,693 \cdot 10^5$  МПа,  $\nu_n = 0,25$ ), а свойства шва характеризуются модулем сдвига  $G_{ш} = (10-10^3)$  МПа. Низкие значения модуля сдвига  $G_{ш}$  соответствуют применению «мягких» клеев типа герметиков «Виксинт У 2–28», а высокие значения соответствуют «жестким» клеям типа ВК-9 или паяным швам.

Плата расположена в центре основания и является симметричной при  $a = b$ ;  $a_n = b_n$  и  $\frac{a_n}{a} = 0,5$ . Геометрические размеры приняты следующими:  $2a = 2b = 20$  мм;  $h_j = 0,8$  мм;

$h_{ш} = 0,6$  мм. Высота корпуса  $H$ , модуль сдвига материала шва  $G$  и толщина шва  $h_{ш}$  варьировались в пределах, соответствующих реальным микросборкам.

В качестве основных выходных параметров, характеризующих НДС исследуемой конструкции, приняты прогибы  $w$  элементов микросборки (платы, основания, шва, крышки, боковых граней), эквивалентные напряжения  $\sigma_{э\text{кв}}$ , рассчитанные по критерию Мизеса, и интенсивность относительных деформаций  $\epsilon_i$ . Программный комплекс позволяет также выводить на печать перемещения, напряжения и относительные деформации по осям  $x, y, z$  (см. рис. 1) для любого элемента конструкции микросборки.

Для удобства анализа и обобщения результатов моделирования НДС элементов конструкции результаты исследований представлены в относительных параметрах:

$\bar{\sigma}_{э\text{кв}} = \sigma_{э\text{кв}} / p$  – безразмерные эквивалентные напряжения;

$\bar{w} = w / p$  – прогиб, отнесенный к величине действующего давления (мм/МПа).

На рис. 2 представлено НДС в элементах микросборки, которое позволяет визуально оценить НДС всех элементов исследуемой конструкции, представленное в трехмерном изображении.

В табл. 1 и 2 представлены значения максимального прогиба  $\max \bar{w} \cdot 10^2$  и эквивалентного напряжения  $\bar{\sigma}_{э\text{кв}}$  в центральной точке платы при различных значениях модуля сдвига  $G$  материала шва и его толщины  $h_{ш}$  для корпусов различной высоты  $H$ .

Таблица 1

Максимальные прогибы  $\max \bar{w} \cdot 10^2$  (мм/МПа) в центре платы

$G$ , МПа	$h_{ш}$ , мм	Высота микросборки $H$ , мм				
		20	15	10	5	3
10	0,1	2,07	2,38	3,02	3,16	2,82
	0,3	1,97	2,27	2,89	3,03	2,69
$10^3$	0,1	1,29	1,53	2,01	2,14	1,88
	0,3	1,30	1,53	2,02	2,15	1,89

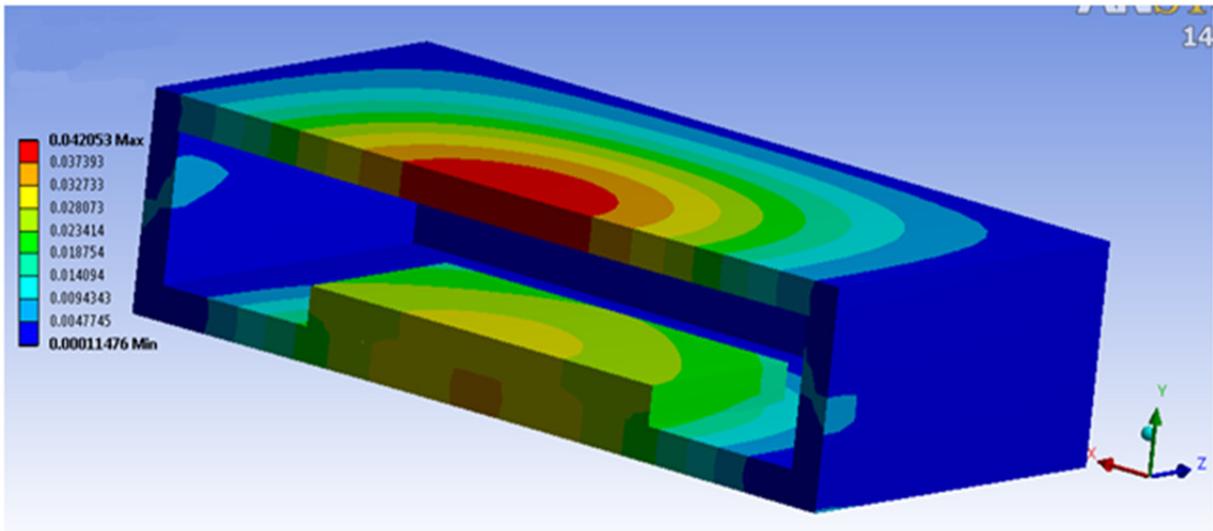
Таблица 2

Напряжения  $\bar{\sigma}_{э\text{кв}}^п$  в центре платы

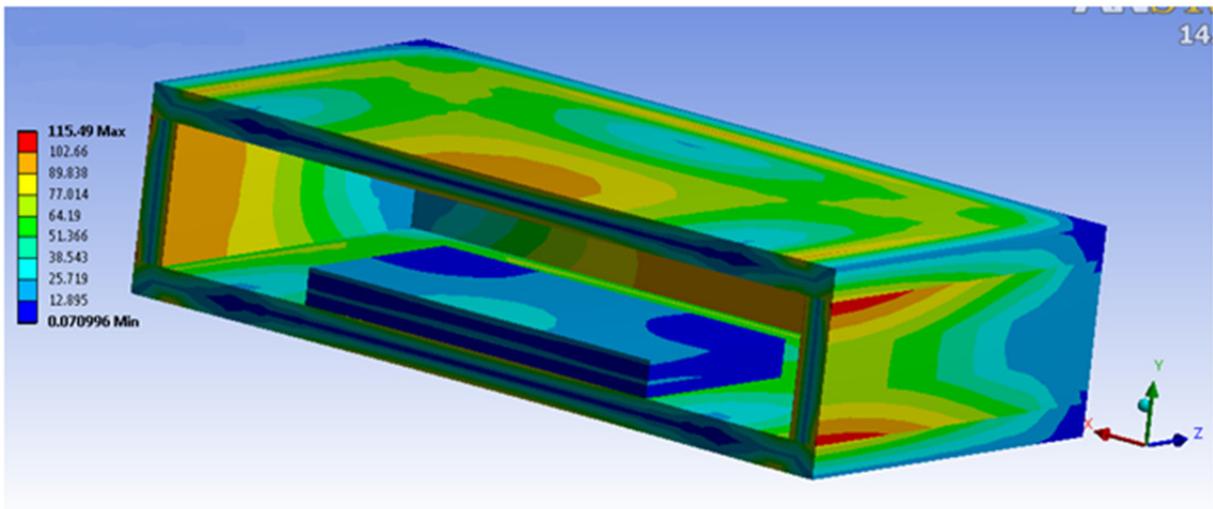
$G$ , МПа	$h_{ш}$ , мм	Высота микросборки $H$ , мм				
		20	15	10	5	3
10	0,1	30,19	32,98	37,73	39,28	36,45
	0,3	23,34	25,38	29,48	30,34	27,81
$10^3$	0,1	28,18	30,39	34,88	36,40	34,04
	0,3	24,7	26,60	30,32	31,47	29,40

Зависимости  $\max \bar{w}$  и  $\bar{\sigma}_{э\text{кв}}$  для центральной точки платы от толщины и жесткости шва представлены на рис. 3, 4 для корпуса с  $H = 20$  мм при различных значениях модуля сдвига материала шва  $G$  (МПа). Аналогичные численные исследования были проведены для различных типоразмеров микросборок.

Моделирование НДС микросборок рассматриваемого типа показало, что увеличение толщины клеевого шва приводит к снижению эквивалентных напряжений и их более равномерно распределению по поверхности платы. В зависимости от толщины шва увеличение модуля сдвига материала шва может приводить как к увеличению, так и к снижению напряжений в плате (см. рис. 4). Существенной особенностью является то, что величина напряжений на поверхности платы зависит от высоты микросборки, что объясняется взаимным влиянием граней корпуса на НДС платы, которое существенно влияет на выходные метрологические характеристики микросборки и его обязательно надо учитывать при моделировании состояния исследуемой конструкции.



a)



b)

Рис. 2. НДС микросборки:  
 а – распределение прогибов  $\bar{w}$ ; б – напряжения  $\bar{\sigma}_{\text{экв}}$

Для большинства реальных микросборок выполняется условие  $H/a < 1$ , при котором наиболее нагруженными оказываются плата и крышка микросборки. Так как при опрессовке в элементах конструкции не допускается появление пластических деформации, то предельно допустимое значение давления опрессовки  $p_*$  для микросборки рассматриваемого типа следует рассчитывать как наименьшее значение из  $p_k$  и  $p_{\text{п}}$  :

$$p_* = \min(p_k; p_{\text{п}}), \quad (1)$$

где  $p_k$  и  $p_{\text{п}}$  – допускаемые давления, рассчитанные из анализа НДС крышки и платы соответственно:

$$p_k = \frac{\sigma_y^k}{\max \bar{\sigma}_{\text{экв}}^k}; \quad p_{\text{п}} = \frac{\sigma_y^{\text{п}}}{\max \bar{\sigma}_{\text{экв}}^{\text{п}}}. \quad (2)$$

Здесь  $\sigma_y^k$  и  $\sigma_y^{\text{п}}$  – пределы упругости для материалов крышки и платы;  $\max \bar{\sigma}_{\text{экв}}^k$ ;  $\max \bar{\sigma}_{\text{экв}}^{\text{п}}$  – максимальные безразмерные эквивалентные напряжения для крышки и платы соответственно, полученные в результате анализа их НДС с использованием данного моделирующего комплекса.

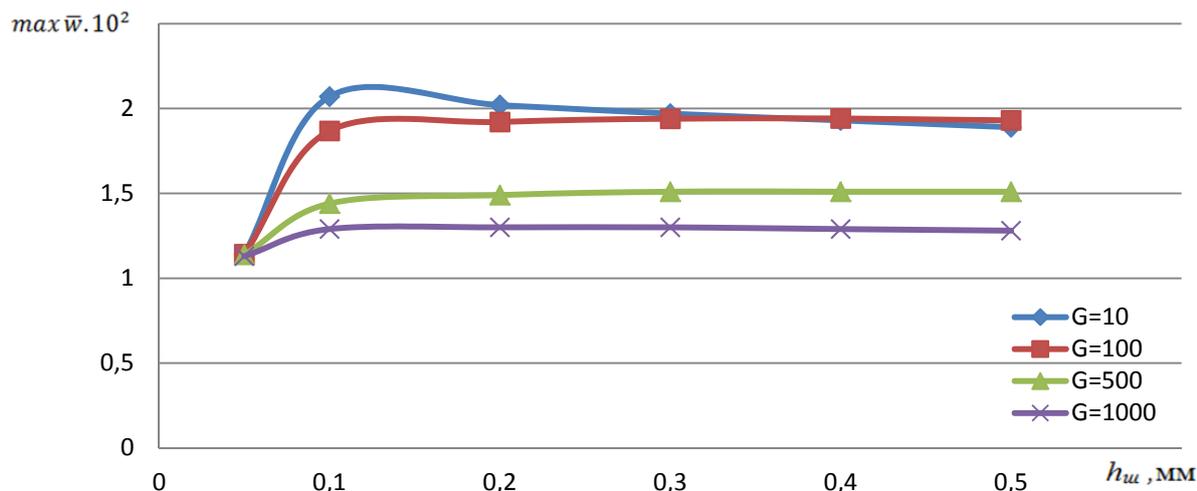
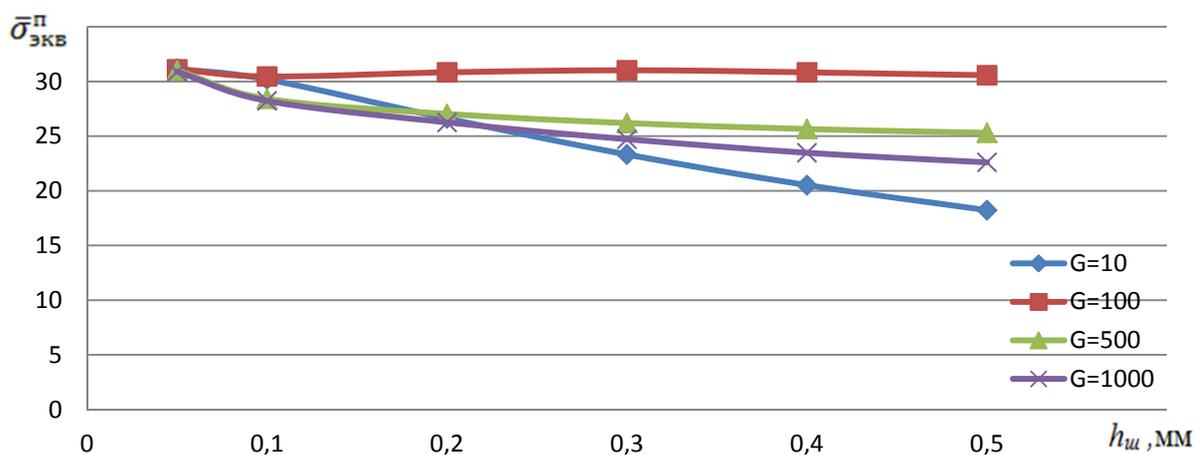


Рис. 3. Максимальные прогибы в центре платы

Рис. 4. Напряжения  $\bar{\sigma}_{экв}^п$  в центре платы

Предложенный подход является наиболее общим, позволяет создать трехмерную адекватную модель, описывающую НДС всех элементов микросборки с учетом ее конструктивных особенностей. Это позволяет оптимизировать конструкцию в соответствии с заданными эксплуатационными воздействиями, а также научно обоснованно назначать режим технологической операции опрессовки при производстве микросборки конкретного типоразмера с учетом расположения одной или нескольких плат на его гранях [9, 10].

Обобщая проведенный анализ, укажем на то, что разработка и применение математических моделей и программно-ориентированных вычислительных комплексов позволяет на ранних этапах проектирования и разработки технологических процессов изготовления обеспечивать требуемую надежность и безопасность изделий. Выбор расчетной математической модели и ее уровня сложности (одномерная, двумерная, трехмерная, учет гетерогенности и других конструктивных особенностей) определяется свойствами конструкции, требуемой точностью исследования НДС и динамических характеристик проектируемой конструкции.

#### Список литературы

- Северцев, Н. А. Системный анализ теории безопасности / Н. А. Северцев, А. В. Бецов. – М. : Изд-во МГУ «Теис», 2009. – 452 с.
- Гладкий, С. Л. Интеллектуальное моделирование физических проблем / С. Л. Гладкий, Н. А. Степанов, Л. Н. Ясницкий ; под общ. ред. А. Н. Ясницкого. – М. ; Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2006. – 200 с.

3. Литвинов, А. Н. Прикладные модели механики гетерогенных структур изделий приборостроения : моногр. / А. Н. Литвинов, М. А. Литвинов, В. В. Смогунов. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. – 320 с.
4. Литвинов, А. Н. Моделирование процессов в слоистых структурах для повышения безопасности сложных технических систем / А. Н. Литвинов, Н. К. Юрков // *Фундаментальные проблемы системной безопасности и устойчивости : материалы IV Междунар. науч. конф.* – Тверь, 2013. – С. 32–35.
5. Хади, О. Ш. Моделирование динамических процессов контактных систем для обеспечения виброустойчивости приборных устройств / О. Ш. Хади, А. Н. Литвинов // *Фундаментальные проблемы системной безопасности : материалы V Междунар. науч. конф.* – Елец : Елецкий гос. ун-т, 2014. – С. 230–235.
6. Хади, О. Ш. Моделирование напряженно-деформированного состояния корпусов микросборок в процессе их изготовления и эксплуатации / О. Ш. Хади, А. Н. Литвинов // *Избранные труды Всероссийской научной конференции по проблемам науки и технологий.* – М. : РАН, 2013. – С. 3–26.
7. Литвинов, А. Н. К вопросу о проектировании термостабильных интегральных микросхем / А. Н. Литвинов // *Компьютерные технологии в науке, проектировании и производстве : материалы II Всерос. науч. техн. конф.* : в 2 ч. – Н. Новгород : Изд-во НГГУ, 2000. – Ч. 1. – С. 15.
8. Патент 2129741 RU 6Н01С7/06,Н01427/01. Термостабильная тонкопленочная микросхема / А. Н. Лугин, А. Н. Литвинов, Г. С. Власов. – Бюл. № 12 ; Опубл. 27.04.1999.
9. Литвинов, А. Н. Моделирование напряженно-деформированного состояния в слоистых структурах РЭС при технологических и эксплуатационных воздействиях / А. Н. Литвинов, Н. К. Юрков // *Надежность и качество сложных систем.* – 2013. – № 3. – С. 25–31.
10. Применение слоистых структур для повышения виброустойчивости конструкций различного назначения / Д. В. Артамонов, М. А. Литвинов, А. Н. Литвинов, Н. К. Юрков // *Труды Междунар. симп. Надежность и качество.* – 2013. – Т. 2. – С. 149–151.

УДК 621.396.6.001:004.4

*Хади, О. Ш.*

**Моделирование состояния гетерогенных структур для повышения безопасности сложных технических систем в процессе их жизненного цикла** / О. Ш. Хади, А. Н. Литвинов // *Надежность и качество сложных систем.* – 2014. – № 3 (7). – С. 8–15.

**Хади Одей Шакер**

ассистент, Технологический университет  
(г. Багдад, Ирак),  
аспирант, кафедра теоретической  
и прикладной механики,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
8-(412)-56-35-39  
E-mail: aodayshaker@mail.ru

**Литвинов Александр Николаевич**

доктор технических наук, профессор,  
кафедра теоретической и прикладной механики,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
8-(412)-56-35-39  
E-mail: aleksletvinov@mail.24

**Аннотация.** Рассмотрена проблема обеспечения безопасности в процессе жизненного цикла изделий, содержащих гетерогенные структуры. Для микросборок прямоугольного типа, представляющих собой гетерогенную структуру, выполнено математическое моделирование НДС его элементов при опрессовке внешним избыточным давлением. При построении математической модели использован метод конечных элементов, реализованный в пакете ANSYS в трехмерной постановке. Выполнено численное моделирование НДС микросборок и даны практические рекомендации по определению допустимого

**Hadi Shaker Auday**

assistant lecturer, University of technology  
(Baghdad, Iraq),  
postgraduate student,  
sub-department of theoretical and applied mechanics,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Litvinov Aleksandr Nikolaevich**

doctor of technical sciences, professor,  
sub-department of theoretical and applied mechanics,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Abstract.** The problem of ensure the safety of products containing a heterogeneous structure in the process of their life cycle was considered. For microassemblies of rectangular type, that represent a heterogeneous structure mathematical modeling of the stress-strain state of its elements when crimping the outer overpressure was fulfilled. To build the mathematical model methadone finite element package implemented in ANSYS in three-dimensional formulation was used. Numerical modeling for the stress-strain state microassemblies was done and practical recommendations for the definition of admissible pressure molding design were given, taking into

давления опрессовки с учетом конструкторско-технологических особенностей проектируемой микросборки и результатов моделирования.

**Ключевые слова:** трехмерное моделирование, гетерогенная структура, микросборка, плата, опрессовка, программный комплекс.

account technological features of designed microassemblies and modeling results.

**Key words:** three-dimensional modeling, the state heterogeneous structure, microassembly, board, crimping, software package.

# ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И БОЕВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

УДК 621.642

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНКИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ ДИСПЕРСИИ СЛУЧАЙНЫХ ФУНКЦИЙ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Н. А. Северцев

### *Введение*

Для определения качества функционирования сложной технической системы (СТС) необходимо контролировать ее параметры. Будем предполагать, что в каждый момент времени известно, в каком положении находятся все подсистемы (элементы) СТС. Это означает, что все внутренние переменные системы измерения могут быть измерены и представлены в качестве выходных значений параметров, которые определяются при прямых, косвенных, совместных и других видах измерений. Результаты всех измерений дают информацию о тех или иных свойствах исследуемой СТС (объекта) [1, 2]. Соответствие значений параметров нормам, установленным в эксплуатационной документации, означает, что СТС (объект) измерения обладает набором требуемых свойств.

### *Модель оценки математического ожидания параметра системы*

Примем в качестве сложной технической системы военную технику (ВТ), выходные характеристики каждого из представителей ВТ являются случайными векторами (функциями времени), случайные реализации которых проявляются в ходе эксплуатации и испытаний систем. Для управления параметрами СТС в ходе проектирования и отработки параметров требуются знания законов их распределения. Знания последних позволяют проводить анализ и строить модели безопасности их функционирования.

Будем пользоваться случайными характеристиками ВТ, законы распределения которых реализуются при отработке и испытаниях. По этим реализациям случайных процессов необходимо идентифицировать их законы распределения.

Решение проблемы оценки параметров распределений осложняется в силу малого числа натуральных испытаний (малой статистики наблюдений). Следует иметь в виду, что в ходе доработки изделия на основе проведенных испытаний вероятен уход параметров испытываемой системы за

счет внесения изменений в конструкцию системы в процессе проведения экспериментов и обработки системы.

Представим методы оценивания математического ожидания параметров ВТ как случайные функции, для которых оценки параметров случайных процессов могут быть определены с помощью построения математических моделей с параметрами в виде случайных векторов.

Пусть мы имеем серию экспериментов  $i, i = 1, \dots, n$ , в каждом из которых получены взаимно некоррелированные оценки реализаций характеристик испытываемой системы вектора  $\bar{x}_j = \{\bar{x}_{ji}\}$  или функции  $\bar{x}_j = (t), t \in [t_0, t_k]$ . Погрешности для оценок не смещены и характеризуются ковариационной матрицей  $K_{\bar{x}_i}(t, t')$  для функции  $x(t)$ . Примем, что неизвестное математическое ожидание характеристик СТС  $M[x] = \{M[x_j]\}$  или  $M[x(t)] = M_x(t)$  при проведении испытаний не меняется. Представим модель совокупности испытаний отдельно для каждого параметра  $x_j$  или значения  $x(t)$  при фиксированном аргументе  $t$ :

$$\begin{aligned} M[x_j] + \delta_{xji} + \delta_{ji} &= \bar{x}_{ji}, \quad j = 1, \dots, i; \\ M_x(t) + \delta_{xi}(t) + \delta_i(t) &= \bar{x}_i(t); \quad t \in [t_0, t_x], \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\delta_{xji}, \delta_{xi}(t)$  – случайные отклонения характеристики СТС от математического ожидания;  $\delta_j(t), \delta_i(t)$  – погрешности точечных оценок характеризуются дисперсиями  $\bar{\sigma}_{xjt}^x$  и  $\bar{\sigma}_{xi}^x(t)$ , а также они характеризуются дисперсиями  $\bar{\sigma}_{ji}^2 = K_{\bar{x}_i}$  и  $\bar{\sigma}_{\delta xi}^2(t) = K_{\bar{x}_i}(t, t')$ , которые определяются по диагональным элементам матриц  $K_{\bar{x}_i}$  или по значениям корреляционной функции  $K_{\bar{x}_i}(t, t')$  или  $t = t'$ .

Суммарное отклонение  $\sigma_{\Sigma ji} = \delta_{xi} + \delta_{ji}$  и  $\sigma_{\Sigma i}(t) = \delta_{xi}(t) + \delta_i(t)$  и их дисперсии выразятся следующим образом:

$$\begin{aligned} \sigma_{\Sigma ji}^2 &= \sigma_{xji}^2 + \sigma_{\delta ji}^2; \\ \sigma_{\Sigma ji}^2(t) &= \sigma_{xi}^2(t) + \sigma_{\delta i}^2(t). \end{aligned} \quad (2)$$

Тогда модель (1) связи полученных оценок реализации характеристик исследуемой СТС (ВТ) и неизвестного математического ожидания выразится как

$$\begin{aligned} M[x_j] + \delta_{\Sigma ji} &= x_{ji}, \quad j = 1, \dots, j; \\ M_x(t) = \delta_{\Sigma i} &= \bar{x}_i(t), \quad t \in [t_0, t_x], \quad i = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (3)$$

При оценивании математического ожидания характеристик СТС в качестве критерия оптимальности примем минимум дисперсии получаемых оценок. Также оценки будут соответствовать взвешенному методу наименьших квадратов:

$$\begin{aligned} M[x_j] &= \sigma_{M[xj]}^2 \sum_{i=1}^n \frac{\bar{x}_{ji}}{2}; \\ \sigma_{M[xj]}^2 &= \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_{\Sigma i(t)}^2}; \\ \bar{M}_x(t) &= \sigma_{M_x}^2(t) \sum_{i=1}^n \frac{\bar{x}_j(t)}{\sigma_{\Sigma i(t)}^2}; \\ \sigma_{M_x}^2(t) &= \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_{\Sigma i(t)}^2} \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Если характеристики ВТ являются случайным полем  $x(t_1, t_2, \dots, t_n)$ , то математическое ожидание (МО) можно получить на основе оценок реализации поля  $\bar{x}_i(t_1, t_2, \dots, t_n)$  в каждой точке пространства  $O t_1, t_2, \dots, t_n$  по формулам, аналогичным (4), с помощью которых МО преобразуются к простому виду средних значений:

$$\bar{M}[x_j] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{x}_{ji}; \quad \sigma_{\bar{M}[x_j]}^2 = \frac{\sigma_{\sum_i}^2}{n};$$

$$\bar{M}_x(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{x}_i(t); \quad \sigma_{\bar{M}_x}^2(t) = \frac{\sigma_{\sum_i}^2(t)}{n}. \quad (6)$$

При достаточном объеме испытаний и в силу центральной предельной теоремы теории вероятностей точечные оценки МО имеют приближенное нормальное распределение, которое можно использовать при поиске доверительного интервала для МО.

В случае, если дисперсии  $\sigma_{\sum_i}^2$  и  $\sigma_{\sum_i(t)}^2$  неизвестны, а оцениваются по экспериментальным данным, то при нормально распределенных реализациях  $\bar{x}_{ji}$  или  $\bar{x}_i(t)$  для интервальной оценки МО характеристик ВТ можно использовать распределение Стьюдента. При ограниченном объеме испытаний оценки МО могут иметь значительные погрешности. В этом случае точность МО случайных функций и характеристик СТС (ВТ) можно повысить, если повысить дополнительный анализ полученных значений  $\bar{M}_x(t)$  или  $\bar{M}_x(t_1, t_2, \dots, t_n)$ .

Пусть реализация точечных оценок  $\bar{M}_x(t)$  на отрезке времени  $[t_0, t_k]$  имеет нерегулярный характер из-за случайных погрешностей. Для повышения точности можно сгладить функцию  $\bar{M}_x(t)$ , для этого необходимо настроить модель изменения МО  $M_{x_{moo}}(t) = F_t\{aq\}$ ,  $q = 1, \dots, Q$ , совершающую ограниченное число неизвестных параметров  $aq$ . Тогда используем физико-математические или формальные многочленные модели.

После этого необходимо производить смешивание данных  $\hat{M}_x(t_y)$ , взятых в дискретные моменты  $t_y, y = 1, \dots, N, N \gg Q$  созданной выбранной математической моделью одним из методов, изложенных выше.

Полученные оценки  $M_{x_{moo}}(t)$  имеют меньший уровень случайности погрешностей за счет сглаживания. Если принята модель  $\hat{M}_{x_{moo}}(t)$  имеет незначительные погрешности, оценки  $M_{x_{moo}}(t_y)$  имеют постоянную дисперсию  $\sigma_{\hat{M}_x}^2(t_y) = \sigma_{\bar{M}_x}^2$ , то дисперсия полученных оценок будет иметь вид

$$\sigma_{\hat{M}_{x_{moo}}}^2(t_y) = \sigma_{\bar{M}_x}^2 \frac{Q}{N_{\text{нек}}}, \quad N_{\text{нек}} \geq Q;$$

$$\sigma_{\hat{M}_{x_{moo}}}^2(t_y) = \sigma_{\bar{M}_x}^2, \quad N_{\text{нек}} < Q, \quad (7)$$

где  $N_{\text{нек}}$  – число некоррелированных данных в общем выборе.

Если случайная функция исследуемой СТС, например беспилотного летательного аппарата или любого летательного аппарата ВТ, обладает эргодическими свойствами по отношению к МО, то оценку МО можно получить по одной реализации  $x(t)$  на основе сглаживания ее выборочной математической моделью  $M_{x_{moo}}(t)$ . Таким же аналогичным образом можно повысить точность оценки МО случайного поля характеристики исследуемой системы, если сформулировать многомерную модель  $M_{x_{moo}}(t_1, t_2, \dots, t_n)$  изменения МО в пространстве  $O t_1, t_2, \dots, t_n$ .

МО характеристики исследуемой системы может иметь тренд, что проявляется в систематическом изменении реализации  $X_{ji}$  или  $X_x(t)$  при фиксированном  $t$  в процессе  $i$ -х испытаний.

Для оценки тренда необходимо выразить его в виде некоторой модели:

$$M_{x_{moo}}[X_{ji}] = b_{1j} + F_j(i, \{b_{gj}\}) \quad \text{или}$$

$$M_{x_{mo}}(t, i) = b_1(t) + F_i(i, \{b_g(t)\})$$

с ограниченным числом параметров  $b_g$ ,  $g = 1, \dots, G < n$ .

В этом случае модель (3) для серии испытаний можно записать в виде

$$b_1 j + F_j(t, \{b_g i\}) + \delta_{\sum ji} = \bar{x}_i(t);$$

$$b_1(t) + F_j(t, \{b_g(t)\}) + \delta_{\sum i} = \bar{x}_i(t).$$

На основании (8) оцениваются параметры модели  $b_g$  одним из статистических методов, а потом оценивается МО характеристики исследуемой системы БЛА или ЛА и др. В рамках выбранной МО для любого законного эксперимента ( $i = 1, \dots, n$ ) или будущих испытаний (экспериментов) про  $i > n$ .

Изложенные методы моделирования оценивания МО характеристик исследуемой системы обладают рядом достоинств. Они требуют знания законов распределения оценок реализации в каждом испытании, обеспечивают требуемые свойства получаемых оценок (несмешанность, состоятельность, эффективность), обладают оперативностью.

Однако при использовании указанных методов необходимо знать модели МО и погрешностей оценок реализаций в процессе проведения натурных испытаний с ТС ВТ.

Дисперсии случайных характеристик исследуемых систем необходимо знать для определения возможных отклонений реализаций характеристик системы при целевом применении, для оценивания параметрической работоспособности системы и для контроля соответствия характеристик системы требованиям технического задания, а также для прогнозирования характеристик и планирования целевого применения системы.

Рассмотрим задачу оценивания дисперсии компонентов случайного вектора  $X = \{x_j\}$  или случайной функции характеристик исследуемой системы  $x(t)$  при фиксированном  $t \in [t_0, t_k]$  по серии испытаний создаваемой системы. Наибольшую информацию о дисперсии имеют квадраты отклонений оценок реализаций характеристик  $\bar{x}_{ij}$  или  $\bar{x}_i(t)$ , получаемых в  $i$ -х испытаниях от оценок математических ожиданий в виде

$$d_{ji} = K_j \{\bar{x}_{ji} - M[X_{ji}]\}^2, \quad j = 1, \dots, j \text{ или}$$

$$d_i(t) = K(t) \{\bar{x}_i(t) - M_{xi}(t)\}^2, \quad t \in [t_0, t_k], \quad (1)$$

где  $K_j$ ,  $K(t)$  – коэффициенты, вводимые для обеспечения несмешанности оценок дисперсии по данным выражения (1):

$$K = n / n - G,$$

где  $G$  – число параметров математической модели, описывающей изменение МО в процессе  $i$ -х экспериментов при постоянном МО  $G = 1$ .

Дисперсия случайных отклонений оценок реализаций характеристик исследуемой системы от МО ( $D_{\sum ji}$ , для параметра  $x_j$  или  $D_{xi}(t)$  для функции  $x(t)$ ) складывается из дисперсий самой характеристики исследуемой системы (например БЛА, ЛА и пр.)  $D_{xji}$  или  $D_{xi}(t)$ , в котором  $i$ -м испытании и дисперсии погрешностей оценок реализаций характеристик  $D_{\delta ji} = \sigma_{\delta ji}^2$  или  $D_{\delta i}(t) = \sigma_{\delta i}^2(t)$ :

$$\bar{D}_{\sum ji} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{ji} = \frac{1}{n-G} \sum_{i=1}^n \{\bar{x}_{ji} - \bar{M}[x_{ji}]\}^2, \quad J = 1, \dots, i \quad (4)$$

$$D_{\sum i}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i(t) = \frac{1}{n-G} \sum_{i=1}^n \{\bar{x}_i(t) - \bar{M}_x(t)\}^2, \quad t \in [t_0, t_k].$$

Эта оценка совпадает с известной несмешанной эффективной оценкой дисперсии по  $n$  независимым испытаниям при неизвестном МО, на основании (4) с учетом (2) определяются оценки

дисперсий характеристик исследуемой системы, если известны оценки дисперсий погрешностей определения реализаций  $\bar{D}_{\delta_j}$  или  $\bar{D}_{\delta}(t)$ :

$$\bar{D}_{x_j} = \bar{D}_{\Sigma_j} - \bar{D}_{\delta_j} \text{ или } \bar{D}_{x(t)} = \bar{D}_{\Sigma}(t) - \bar{D}_{\delta}(t). \quad (5)$$

Оценки суммарных дисперсий  $\bar{D}_{\Sigma_{ji}}$  или  $\bar{D}_{\Sigma}(t)$  или нормально распределенных  $D_{\Sigma_{ji}}$  или  $\bar{D}_{\Sigma}(t)$  реализаций характеристик  $\bar{x}_{ji}$  или  $\bar{x}_i(t)$  имеют  $\xi^2$  распределение [4]:

$$\begin{aligned} \sigma_{\bar{D}_{\Sigma_j}}^2 &= \frac{2\bar{D}_{\Sigma_j}^2}{(n-G)}; \\ \sigma_{D_{\Sigma(t)}}^2 &= \frac{2\bar{D}_{\Sigma}(t)^2}{(n-G)}. \end{aligned} \quad (6)$$

При достаточно большом количестве испытаний создаваемой и испытываемой системы распределение дисперсий оценок стремится к нормальному. Погрешности оценок дисперсий характеристик испытываемой СТС дополнительно зависят от погрешностей оценок дисперсий  $\bar{D}_{\delta_j}$  или  $\bar{D}_{\delta}(t)$ , т.е.:

$$\begin{aligned} \sigma_{D_{\Sigma_j}}^2 &= \sigma_{\bar{D}_{\Sigma_j}}^2 + \sigma_{\bar{D}_{\delta_j}}^2; \\ \sigma_{\bar{D}_{x(t)}}^2 &= \sigma_{\bar{D}_{\Sigma(t)}}^2 + \sigma_{\bar{D}_{\delta}(t)}^2. \end{aligned} \quad (7)$$

При ограниченном объеме испытаний и значительных погрешностей  $\sigma_{\bar{D}_{\delta_j}}^2$  или  $\sigma_{\bar{D}_{\delta}(t)}^2$  точность определения дисперсий характеристик исследуемой СТС по формулам (4) и (5) получается не совсем удовлетворительной, т.е. невысокой. Для устранения этого  $i$ -го недостатка повышения точности оценивания суммарной дисперсии  $\bar{D}_{\Sigma}(t)$  следует провести дополнительный анализ получаемой реализации на отрезке времени  $[t_0, t_k]$ .

Функция  $\bar{D}_{\Sigma}(t)$  имеет нерегулярный характер из-за случайных погрешностей оценивания. Обычно дисперсия изменяется плавно, и это изменение можно описать некоторой моделью:

$$D_{\Sigma_{Mod}}(t) = F(t\{C_r\}),$$

в которую входит ограниченное число неизвестных параметров  $C_r$ ,  $r = 1, \dots, R$  [2]. Имея модель, можно данные  $\hat{D}_{\Sigma}(t)$ , взятые в дискретные моменты времени  $t \in [t_0, t_k]$ ,  $V = 1, \dots, N \gg R$ , сгладить и получить реализацию оценки дисперсии в рамках этой модели методом наименьших квадратов. Дисперсия многомерных случайных характеристик СТС  $x(t_1, t_2, \dots, t_N)$  оценивается по данным нескольких испытаний, как и для случайной функции  $x(t)$  с заменой в зависимостях (4)–(7) аргумента  $t$  на точку пространства  $O t_1, t_2, \dots, t_N$ . В этом случае, когда дисперсия характеристик испытываемой СТС изменяется в процессе проведения испытаний, для ее оценивания необходимо формировать математическую модель:

$$D_{\Sigma_{Mod}ji} = F(i\{e\}) \text{ или } D_{\Sigma_{Mod}}(t) = F_i(i\{e_p(t)\}).$$

Зависимость суммарной дисперсии от номера  $I$  с ограниченным числом неизвестных параметров  $e_p, p = 1, \dots, p < n$ . В соответствии с этой моделью систему (3) связи неизвестных данных с неизвестной дисперсией можно представить в виде

$$F_i(i, \{e_p\}) + \xi_{ji} = d_{ji} \text{ или } F_i(i, \{e_p(t)\}) + \xi_i(t) = d_i(t), \quad (8)$$

где  $\xi$  – случайные отклонения.

На основании (8) определяются оценки параметров  $e_p$  одним из методов, изложенных выше, а затем вычисляются оценки суммарной дисперсии по принятой модели при значениях  $\{\bar{e}_p(t)\}$ . Дисперсии характеристик испытываемой и создаваемой СТС оцениваются по зависимостям (5)–(7). Достоинством изложенных методов оценки дисперсии характеристик испытываемой и создаваемой СТС является их сравнительная простота и удовлетворительные свойства получаемых оценок: несмещенность, состоятельность, эффективность. Однако в некоторой мере неопределенность законов распределения получаемых оценок дисперсий характеристик создаваемой и испытываемой СТС ВТ затрудняет в некоторой мере проведение интервального оценивания дисперсии характеристик ВТ [5, 6]. При исследовании любых СТС на условия безопасности функционирования на доказательной (математической) базе, без определения математического ожидания и дисперсии такие исследования будут неполными и неадекватными в предметных приложениях.

### Список литературы

1. Северцев, Н. А. Метод оценки показателей безопасности автономных динамических систем / Н. А. Северцев, А. Н. Катулев // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 1. – С. 17–26.
2. Северцев, Н. А. Системный анализ определения параметров состояния и параметры наблюдения объекта для обеспечения безопасности / Н. А. Северцев // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 1. – С. 4–10.
3. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. Н. Овчаров. – М. : Высшая школа, 2003. – 430 с.
4. Иванющенко, А. С. Методологические основы испытаний сложных систем. Кн. 1. Математическое обеспечение испытаний летательных аппаратов / А. С. Иванющенко. – М. : Техн. инф. сист., 2002. – 367 с.
5. Северцев, Н. А. Безопасность и отказоустойчивость динамических систем / Н. А. Северцев. – М. : Вузовская книга, 2013. – 412 с.
6. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы обработки данных / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М. : Мир, 1980. – 620 с.
7. Грушанский, В. А. О методах сравнения эффективности адаптивных систем с летательными аппаратами / В. А. Грушанский, Н. А. Северцев // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2011. – Т. 1. – С. 18–21.
8. Баранов, Н. А. Управление состоянием готовности системы безопасности к отражению угрозы / Н. А. Баранов, Н. А. Северцев // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2012. – Т. 1. – С. 8–10.

УДК 621.642

Северцев, Н. А.

Моделирование оценки математического ожидания дисперсии случайных функций характеристик сложной технической системы / Н. А. Северцев // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 16–21.

**Северцев Николай Алексеевич**

доктор технических наук, профессор,  
начальник отдела безопасности  
и нелинейного анализа,  
Учреждение Российской академии наук,  
Вычислительный центр им. А. А. Дородницына РАН  
(119333, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, 40)  
8-(495)-135-55-08  
E-mail: severcev@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрены методы оценки точности оценок математического ожидания и дисперсии характеристик сложных технических систем при их создании и испытаниях. Методы оценивания основываются на математических моделях с параметрами в виде случайных векторов, определяющих случайные функции, или характеристиками исследуемой системы являются случайные поля. Представлены модели характеристик исследования оценок математического ожидания и дисперсий в общем виде.

**Ключевые слова:** случайная величина, математическое ожидание, дисперсия, модели оценок, сложная техническая система, безопасность.

**Severtsev Nikolay Alekseevich**

doctor of technical sciences, professor,  
head of department of safety and nonlinear analysis,  
Dorodnicyn Computer Center  
of the Russian academy of sciences  
(119333, 40 Vavilov street, Moscow, Russia)

**Abstract.** The article deals with methods of assessing the accuracy of evaluations of mathematical expectation and variance characteristics of complex technical systems as they are created and tested. Methods of estimation are based on mathematical models with parameters in the form of random vectors that define the random function, or the characteristics of the studied systems are random fields. Presents a model of research evaluation of mathematical expectation and variance of in general terms.

**Key words:** random variable mathematical expectation, variance, the model estimates, a complex engineering system, security.

# ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

УДК 629.7.05

## МЕТОДЫ КОГЕРЕНТНОГО КОНТРОЛЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

А. В. Полтавский

### *Введение*

В современных радиолокационных системах обнаружения различного типа подвижных объектов в процессе мониторинга окружающего пространства беспилотным летательным аппаратом (БЛА) применяются пассивные и активные фазированные антенные решетки (ФАР), пространственная селективность которых значительно зависит от апертуры антенны БЛА [1, 2]. Однако значительное увеличение геометрических размеров БЛА приводит к проблемам обеспечения жесткости конструкции системы и связано с линейными размерами ФАР, а начиная с некоторых ограничений на их геометрические размеры, и к физической невозможности их реализации. Возникает необходимость в дополнительном поиске и разработке новых обоснованных подходов для решения подобных технических задач [3].

Один из таких возможных вариантов решения данной задачи – допустить нежесткость (возможность колебания конструкции БЛА) механических связей между модулями-узлами ФАР БЛА при одновременной возможности контроля их текущих координат в реальном времени.

Известный нам метод определения координат [4] включает в себя оптическую систему, через которую проецируют изображение на поверхность объекта, формируя при этом на поверхности объекта массив точечных изображений. Задача здесь решена путем технической реализации метода, включающего в себя следующие основные операции:

- проецирование изображения на поверхность светочувствительного объекта через массив микролинз, формируя при этом на поверхности объекта массив изображений точечных источников (для каждого источника отдельное изображение);
- регистрацию каждого точечного изображения матричным приемником излучения с его преобразованием в электрический сигнал;
- оцифровывание электрического сигнала с помощью АЦП (аналого-цифрового преобразователя), формирование огибающей принимаемого сигнала излучения;
- определение положения и величины максимума огибающей сигнала посредством соответствующего алгоритма (программы) и вычислительного устройства;
- определение положения и значений производных сигнала в точках, где сигнал был оцифрован;

– формирование рассогласования относительно опорного сигнала в точках, где сигнал был оцифрован;

– обработку рассогласования цифровым фильтром и определение координаты изображения.

Предлагаемые метод и устройство контроля направлены на повышение точности определения координат изображения точечного источника на поверхности ПЗС-матрицы. При этом из полученного изображения формируется набор данных, которых достаточно для того, чтобы построить модель поверхности второго порядка уклонения элементов ФАР от соответствующей плоскости.

### **Описание общей модели когерентной системы обнаружения подвижных объектов**

Прием сигнала для многофункциональной информационно-измерительной когерентной\* системы (ИИКС) представляет собой прием электромагнитного сигнала с известной фазой, но на практике реализовать когерентный\* прием – затруднительная задача, и тогда прибегают к так называемому квазикогерентному\* приему электромагнитного сигнала, при котором опорные электромагнитные колебания, по фазе совпадающие с принимаемым сигналом, формируются с помощью узкополосных фильтров, систем фазовой автоподстройки частоты с использованием входного сигнала. Полной вероятностной характеристикой когерентной\* системы ИИКС является ее функция плотности вероятностей  $f(Y, s; t) = f^{(s)}(Y, t)$ , которая характеризует распределение фазовых координат  $Y(t)$  и вероятность состояния структуры  $s(t)$  в текущий момент времени  $t$ , т.е.

$$P^{(s)}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(Y, t) dY, s = \overline{1, S}. \quad (1)$$

Оценку  $s$  состояния когерентной системы находим из соотношений случайного процесса [1]:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{P}}_s &= - \sum_{r=1}^S \left( \hat{P}_s v_{s_r} \left( \hat{Y}^{(s)}, R^{(s)}, t \right) - \hat{P}_r v_{rs} \left( \hat{Y}^{(s)}, R^{(s)}, t \right) \right) + \frac{1}{2} \hat{P}_s \sum_{r=1}^S \hat{P}_r b^{(s)} \left( \hat{Y}^{(s)}, Z, t \right), \\ \dot{\hat{Y}}^{(s)} &= f^{(s)} \left( \hat{Y}^{(s)}, t \right) + \sum_{r=1}^S \frac{\hat{P}_r(t)}{\hat{P}_s(t)} v_{rl} \left( \hat{Y}^{(s)}, R^{(r)}, t \right) \left[ \hat{Y}^{(r)} - \hat{Y}^{(s)} \right] + R^{(s)} C^T \left( \hat{Y}^{(s)}, t \right) Q_Z^{-1} \left( Z - H \left( \hat{Y}^{(s)}, t \right) \right), \quad (2) \\ \dot{R}^{(s)} &= R^{(s)} \frac{\partial f^{(s)T} \left( \hat{Y}^{(s)}, t \right)}{\partial \hat{Y}} + \frac{\partial f^{(s)} \left( \hat{Y}^{(s)}, t \right)}{\partial \hat{Y}} R^{(s)} + f_0^{(s)} \left( \hat{Y}^{(s)}, t \right) f_0^{(s)T} \left( \hat{Y}^{(s)}, t \right) + \\ &+ \sum_{r=1}^S \frac{\hat{P}_r(t)}{\hat{P}_s(t)} v_{rs} \left( \hat{Y}^{(r)}, R^{(r)}, t \right) \left( R^{(r)} - R^{(s)} + \left( \hat{Y}^{(r)} - \hat{Y}^{(s)} \right) \left( \hat{Y}^{(r)} - \hat{Y}^{(s)} \right)^T \right). \end{aligned}$$

Развиваемые в лаборатории 54 ИПУ РАН методы и модели контроля за состоянием когерентных систем основываются на фундаментальных основах радиофизических методов. Они изначально предполагают их многокомпонентное взаимодействие в теоретической части и подготовку к экспериментальным исследованиям на основе общей теории когерентности сигналов. Теория когерентных (квазикогерентных\*) сигналов электромагнитных волн основана на известных уравнениях Максвелла (описывающих циркуляцию векторов электрического и магнитного полей), в которых одним из частных решений волновых уравнений являются известные структуры из элементарных тригонометрических функций (представляются простейшие условия) вида

$$E = E_{\max} \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} + \alpha\right) \quad \text{– для электрического поля волны и} \quad H = H_{\max} \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} + \alpha\right) \quad \text{– для}$$

магнитного поля электромагнитной волны, в которых:  $E_{\max}$ ,  $\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} + \alpha\right)$  – максимальная амплитуда и полная фаза гармонического сигнала с длиной волны  $\lambda$  и начальной фазой  $\alpha$ , а для второй компоненты электромагнитной волны как  $H = H_{\max} \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} + \alpha\right)$  рассуждаем аналогично.

Далее рассмотрим суперпозицию двух линейно поляризованных волн с одинаковыми направлениями электромагнитных колебаний

$$E_1 = E_{\max 1} \cos(\omega t - kS_1 + \phi_1) \text{ и } E_2 = E_{\max 2} \cos(\omega t - kS_2 + \phi_2),$$

где  $S_1, S_2$  – пути, пройденные электромагнитными волнами до некоторой точки о.

Результирующее движение также имеет вид гармонического колебания с интенсивностью

$$J_{1,2} = J_1 + J_2 + 2\sqrt{J_1 J_2} \cos \nu_\delta, \quad \nu_\delta = (kS_1 - kS_2) + (\phi_1 + \phi_2) \quad (3)$$

и максимальной амплитудой электромагнитных колебаний в форме

$$E_{\max}^2 = E_{\max 1}^2 + E_{\max 2}^2 + 2E_{\max 1} E_{\max 2} \cos \nu_\delta. \quad (4)$$

Множество приемных устройств квазикогерентных\* систем воспринимают интенсивность, усредненную во времени:

$$\nu_\delta = (kS_1 - kS_2) + (\phi_1 + \phi_2) = \text{const}, \quad \nu_\delta > 0, \quad J_{1,2} > J_1 + J_2, \quad (\text{при } J_1 = J_2 \Rightarrow J = 4J_2).$$

Если тригонометрическая функция вида  $\cos \nu_\delta = 2n\pi, n = 1, 2, 3, \dots$ , то волны и их источники в отношении фаз будут согласованы друг с другом, т.е. когерентны. Таким образом, монохроматическая волна – это есть когерентная волна\* и ее фаза не должна «сбиваться» во времени. Перераспределение интенсивностей излучения с образованием соответствующих минимумов и максимумов в результате суперпозиции когерентных электромагнитных волн (сложение  $k$  электромагнитных волн  $I_\Sigma = \left| \sum_{i=1}^k E_{mi} \right|^2$ ) в теории сигналов еще называют интерференцией.

В практических задачах и математическом моделировании многих подвижных объектов в информационной многофункциональной ИИКС сигнал в электромагнитном поле также характеризуется амплитудой и фазой [1, 2]:

Любой из этих параметров несет информацию об объектах различной природы и может быть использован для решения широких задач радиолокации. На основе известного нам метода усреднения когерентного\* во времени сигнала для не периодически движущихся с постоянной скоростью объектов в большинстве известных работ приведена рабочая формула

$$U(t) = A(t) \exp[-j(\phi_M(t) + \phi_c(t))], \quad (5)$$

где  $A(t), \phi_c(t)$  – амплитуда и собственная фаза электромагнитного сигнала, временная зависимость которых объясняется флуктуациями квазикогерентного\* сигнала под воздействием случайных факторов;  $\phi_M(t)$  – фазовая модуляция компонент, которая вносится в сигнал для обеспечения его обнаружения с условием действия помехи системе ИИКС.

Любой из этих параметров несет информацию об объектах различной природы и может быть использован для решения широких задач радиолокации. На основе известного нам метода усреднения когерентного\* во времени сигнала для не периодически движущихся с постоянной скоростью объектов в большинстве известных работ приведена рабочая формула

$$I(r) = I_0(r) \frac{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{\lambda} V(r)\tau \right]}{\left[ \frac{2\pi}{\lambda} V(r)\tau \right]^2}, \quad (6)$$

где  $I(r), I_0(r)$  – символы интенсивности сигнала от объекта-цели и интенсивности сигнала, соответствующего «невозмущенному» объекту;  $V(r), \tau$  – скорость перемещения и время наблюдения (экспозиции) объекта-цели;  $\lambda$  – длина волны электромагнитного излучения. В работах профессоров И. В. Прангишвили, А. Н. Ануашвили, В. В. Маклакова (ИПУ РАН) получено подобное выражение для наблюдения интенсивности квазикогерентного\* излучения (усредненного во времени) при наблюдении объекта под некоторым углом  $\alpha$ :

$$I_s = I_{0S} \sin^2 \left[ \frac{2\pi}{\lambda} VT \cos \alpha \right], \quad (7)$$

при  $0 < VT \leq d$  и  $I_s = I_{0S} \left[ 1 - \frac{d}{VT \sin \alpha} \right]^2$ , если условие  $VT \sin \alpha \geq d$ , где  $d$  – геометрический размер наблюдаемой структуры (структура объекта наблюдения на некотором интервале времени экспозиции данного подвижного объекта  $T = \tau$ ).

В общем же случае [1–3] в системах обнаружения квазикогерентный\* входной сигнал в приемном устройстве может быть представлен полезной составляющей  $S(t)$  и помехой  $N(t)$  в виде

$$X(t) = S(t) + N(t). \quad (8)$$

В радиофизике часто принимается, что помеха (шум) вида  $N(t)$  – стационарный случайный процесс, свойства которого при сдвиге во времени имеют одинаковые статистические свойства, причем  $\overline{N(t)} = 0$ ,  $\overline{N(t), (t-\tau)} = R_n(\tau)$ , где чертой обозначено статистическое усреднение, а  $R_n(\tau) = R_n(-\tau)$  – (авто) корреляционная функция случайного процесса (шума)  $N(t)$ , зависящая только от времени сдвига  $\tau$ . Спектральная интенсивность процесса находится

$$S_n(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_n(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau.$$

Полагая шум белым с нормально распределенными параметрами, получим формулу для усредненного квадрата приращений фазы сигнала за время сдвига в виде выражения [1]

$$\overline{\Delta^2(\tau)} = \frac{4}{\pi} \int_0^{\infty} S_n(\omega) \frac{\sin^2(\omega\tau/2)}{\omega^2} d\omega.$$

Мгновенная частота такого случайного процесса равна  $\omega(t) = \omega_0 + n(t)$  и в каждый момент времени имеет гауссово распределение [1]

$$p_n = \frac{1}{\sqrt{2\pi n^2}} \exp\left[-\frac{n^2}{2n^2}\right].$$

При модуляции спектральная интенсивность сигнала  $S_n(\omega)$  изменяется медленно и в формуле для усредненного квадрата фазы можно положить приближенно  $S_n(\omega) \approx S(0)$ ,  $\delta\omega | \tau \geq 1$ ,  $\delta\omega$  – эффективная ширина спектра электромагнитного сигнала.

Сигнал учитывает характеристики приемного устройства (например, в когерентных\* РЛС, АРГС и т.д), он включает мощность излучения, отражение от объекта-цели и фона, а также фазовый сдвиг и обратно пропорциональную величину от четвертой степени дальности  $D$  до  $i$ -й точки структуры объекта-цели и описывается достаточно известной формулой [1, 2]

$$S_i(t) = \sigma_i(Z_i, D_i) \exp \left\{ j \left[ \omega t - \frac{4\pi D_i}{\lambda} - \frac{2\pi (Z - Z_i)^2}{\lambda D_i} \right] \right\}, \quad (9)$$

где  $\omega, Z$  – круговая частота электромагнитного сигнала и расстояние перемещения по оси наблюдения объекта  $z$  соответственно, показатель вида  $\sigma_i(Z_i, D_i)$  учитывает характеристики приемного квазикогерентного\* устройства и условия наблюдения подвижного объекта, которые также носят случайный характер.

\* В теории когерентности важным понятием является функция взаимной корреляции электромагнитных сигналов, приходящих с двух различных направлений и в два момента времени, – это есть функция взаимной когерентности [1, 2]:

$$\Gamma_{12}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} E(\xi_1, t) E^*(\xi_2, t + \tau) dt,$$

где звездочкой обозначена комплексно сопряженная величина;  $E(\xi_1, t)$  – комплексная величина излучения электромагнитного сигнала.

С помощью неравенства Шварца можно показать, что для двух излучений выполняется условие вида

$$0 \leq |\Gamma_N(\xi_1, \xi_2, \tau)| \leq 1,$$

экстремальные значения символов 0 и 1 говорят о полной некогерентности и полной когерентности от двух источников излучения, т.е. электромагнитное излучение, приходящее с направлений от двух источников  $\xi_1$  и  $\xi_2$ , является полностью когерентным, если при этом выполняется следующее равенство

$$\Gamma_N(\xi_1, \xi_2, \tau) = 1.$$

При значении  $\Gamma_N(\xi_1, \xi_2, \tau) = 0$  излучение от точки 1 не зависит от излучения точки 2, в таком случае будет

$$\Gamma(\xi_1, \xi_2, \tau) = \Gamma(\xi_1, \tau) \delta(\xi_1 - \xi_2).$$

С учетом принципа суперпозиции входной сигнал в приемном устройстве ИИКС следует рассматривать по  $n$  составляющим для подвижного объекта как [1, 2]

$$S(t) = \sum_n S_n(t) = \sum_n \sigma_n(Z_n, D_n) \exp \left\{ j \left[ \omega t - \frac{4\pi D_n}{\lambda} - \frac{2\pi}{\lambda D_n} (Vt - Z_n)^2 \right] \right\}. \quad (10)$$

Несложным преобразованием с помощью функции Кравченко–Бернштейна сигнал для системы обнаружения подвижного объекта с учетом возможных помех ИИКС (естественных и организованных) приводится к следующему виду [1, 2, 6]:

$$S(U, t) = U \exp[-\phi t], \quad (11)$$

где  $U, \phi$  – случайная составляющая сигнала с учетом действующей помехи  $N(t)$ , которая в имитационном моделировании часто полагается белым шумом с интенсивностью  $G_N$ , а математическое ожидание и дисперсию сигнала обозначим через символы  $m_u, D_u$ .

Алгоритм обнаружения подвижного объекта-цели в многоканальной ИИКС представим «пороговой» зависимостью следующего вида [2, 6]:

$$C = \frac{b_0 \hat{P}_1}{a_0 \hat{P}_2}, \begin{cases} 1, & \text{при } \Lambda_0(u_{\alpha_1}, u, T) \leq C; \\ 2, & \text{при } \Lambda_0(u_{\alpha_1}, u, T) > C, \end{cases} \quad (12)$$

где  $C$  – порог обнаружения;  $T$  – время наблюдения квазикогерентного\* сигнала;  $u_{\alpha_1}$  – априорное значение случайной величины  $U$ ;  $u$  – реализация случайной величины  $U$ ;  $\hat{P}_2$  – оценка априорной вероятности появления полезного сигнала;  $\hat{P}_1 = 1 - \hat{P}_2$  – оценка априорной вероятности появления помехи  $N(t)$ ;  $b_0, a_0$  – потери при пропуске полезного сигнала и при ложной тревоге; индекс 2 обозначает наличие полезного сигнала в общей структуре сигнала  $X(u, t)$ , действующего на вход квазикогерентной\* системы, индекс 1 – отсутствие полезного сигнала в приемном устройстве информационно-измерительной системы ИИКС [2, 6]:

$$X(u, t) = \begin{cases} X_2(u, t) = u \exp(-\phi t) + N(t); \\ X_1(u, t) = N(t). \end{cases} \quad (13)$$

Функция-индикатор  $\Lambda_0(u_{\alpha_1}, u, T)$  будет определяться следующим выражением:

$$\begin{aligned} \Lambda_0(u_{\alpha_1}, u, T) &= hE(u_{\alpha_1}, u, T) \left\{ 1 + \frac{1}{2} D_u \left[ \vartheta_1^2(u_{\alpha_1}, u, T) + \vartheta_{11}(u_{\alpha_1}, u, T) \right] \right\}; \\ E(u_{\alpha_1}, u, T) &= \exp \left\{ \int_0^T g(u_{\alpha_1}, \tau) X(u, \tau) d\tau - \frac{1}{2} \beta(u_{\alpha_1}, T) \right\}; \\ \vartheta_1(u_{\alpha_1}, u, T) &= \int_0^T \dot{g}(u_{\alpha_1}, \tau) X(u, \tau) d\tau - \dot{\beta}(u_{\alpha_1}, T); \\ \vartheta_{11}(u_{\alpha_1}, u, T) &= \int_0^T \ddot{g}(u_{\alpha_1}, \tau) X(u, \tau) d\tau - \ddot{\beta}(u_{\alpha_1}, T); \\ g(u_{\alpha_1}, T) &= \int_0^T g(u_{\alpha_1}, \tau) f(u_{\alpha_1}, \tau) d\tau; g(u_{\alpha_1}, \tau) = (u_{\alpha_1} / G_N) \exp(-\phi\tau); \\ h &= 1 / (u_{\max} - u_{\min}), f(u_{\alpha_1}, \tau) = S(u, \tau), \end{aligned} \quad (14)$$

где  $u_{\max}, u_{\min}$  – экстремум случайной величины  $U$ .

Производные компоненты  $g(u_{\alpha_1}, \tau), \beta(u_{\alpha_1}, T)$  берутся по  $u_{\alpha_1}$  соответственно.

Из данных формул можно найти очередное выражение в виде [6]

$$\beta(u_{\alpha_1}, T) = -\frac{u_{\alpha_1}^2}{2G_N\phi} (1 - \exp(-2\phi T)). \quad (15)$$

Для наблюдаемого сигнала в многоканальной ИИКС дополнительные компоненты

$$\begin{aligned} \dot{g}(u_{\alpha_1}, \tau) &= (1 / G_N) \exp(-\phi\tau); \ddot{g}(u_{\alpha_1}, \tau) = 0; \\ \dot{\beta}(u_{\alpha_1}, T) &= -\frac{u_{\alpha_1}}{G_N\phi} (1 - \exp(-2\phi T)); \\ \ddot{\beta}(u_{\alpha_1}, T) &= -\frac{u_{\alpha_1}}{G_N\phi} \exp(-2\phi T). \end{aligned} \quad (16)$$

Очередным преобразованием формулы (14) получим, что исходная функция принимает

$$\begin{aligned} \Lambda_0(u_{\alpha_1}, u, T) &= h \left[ 1 + \frac{D_u}{2G_N^2} (J^2(u, T) + \alpha_1 u_{\alpha_1} J(u, T) + bu_{\alpha_1}^2 + dG_N) \right] \times \\ &\times \exp \left\{ \frac{u_{\alpha_1}}{G_N} J(u, T) + \frac{\alpha_1 u_{\alpha_1}^2}{4 G_N} \right\}; \quad J(u, T) = \int_0^T \exp(-\phi\tau) X(u, \tau) d\tau; \\ \alpha_1 &= (1 - \exp(-\phi T)) / \phi; b = \alpha_1^2 / 4; d = \alpha_1 / 2. \end{aligned} \quad (17)$$

Требуемым значением для выходного сигнала в многоканальной системе ИИКС является

$$Y_T(m_{\alpha_1}, u, T) = \begin{cases} 2, & \text{при } \Lambda_0(u_{\alpha_1}, u, T) > C; \\ 1, & \text{при } \Lambda_0(u_{\alpha_1}, u, T) \leq C, \end{cases} \quad (18)$$

в котором исходными данными для имитационного моделирования процедурами неградиентного случайного поиска (НСП) являются [6, 7] –  $u_{\alpha_1} = m_u = 0$ ;  $D_u = 48$ ;  $h = 1/24$  и  $G_N = 6$ ;  $T = 5c$ ;  $\phi = 5$ ;  $\alpha_1 = 0,2$ ;  $b = 0,01$ ;  $d = 0,1$ ;  $C = 1,5$ , что соответствует оценкам вероятностей как  $\hat{P}_2 = 0,4$ ;  $\hat{P}_1 = 0,6$  и отношению  $b_0 / a_0 = 0,042$ . Таким образом, цена за ложную тревогу примерно в 25 раз больше, чем за пропуск соответствующего полезного сигнала [6, 7].

Реальным значением для выходного сигнала в многоцелевой ИИКС является зависимость

$$Y(m_u, G_N) = \begin{cases} 2, & \text{при } \Lambda_0(m_u, G_N, D_u) > C; \\ 1, & \text{при } \Lambda_0(m_u, G_N, D_u) \leq C, \end{cases} \quad (19)$$

в которой характеристики  $m_u, G_N, D_u$  являются недостаточно известными.

Задача оптимизации состоит в определении компонент  $m_u^*, G_N^*, D_u^*$ . Событием  $\theta$  будет конъюнкция из событий  $\theta_1 \cap \theta_2$ , при этом для события  $\theta_1$  имеет  $Y_T(m_u, u, T) = Y(m_u, G_N, D_u)$  при  $X(u, t) = X_1(u, t)$ , а символ  $\theta_2$  – событие, состоящее в выполнении равенства  $X(u, t) = X_2(u, t)$ . Результатом поиска процедурами НСП [7] получено  $m_u^* = 0,092; G_N^* = 4,47; D_u^* = 50,34$ . Для системы обнаружения, выходным сигналом которой будет сигнал (11), вероятность ошибочного решения равна 0,351, для системы обнаружения с выходным сигналом (18) при  $m_u = m_u^*, G_N = G_N^*, D_u = D_u^*$  эта вероятность равна 0,442. При уменьшении интенсивности белого шума в системе ИИКС вероятность ошибочных решений значительно уменьшается [8, 9].

### Описание устройства когерентного контроля подвижных объектов в ИИКС

Предлагаемый метод и модели когерентного\* контроля, а также его техническая реализация (рис. 1) в виде имитационной модели устройства дают возможность осуществления пространственной оценки положения координат модулей нежесткой крупноапертурной антенной решетки в реальном времени. Это позволяет создать систему управления фазами приемо-передающих модулей-узлов, что в конечном счете может повысить тактико-технические характеристики современных ФАР БЛА [3], в частности их пространственную избирательность подвижных объектов.

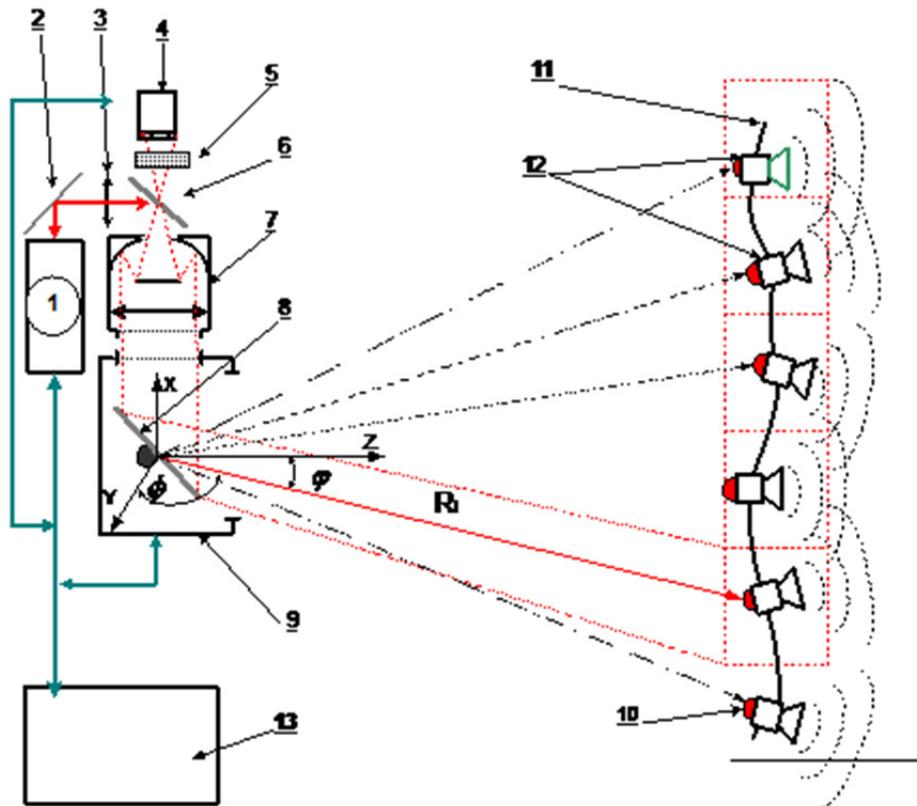


Рис. 1. Модель устройства для контроля координат элементов ФАР:  
 1 – лазерный дальномер; 2 – поворотное зеркало; 3 – фокусирующая линза;  
 4 – ПЗС-матрица; 5 – светофильтр; 6 – полупрозрачное зеркало; 7 – длиннофокусный объектив;  
 8 – подвижное зеркало; 9 – оптический сканер; 10 – светоотражающие элементы;  
 11 – каркас; 12 – приемно-передающие модули; 13 – контроллер

Разработанная модель и макет (в лаборатории 54 ИПУ РАН) для реализации устройства для контроля координат модулей-узлов нежесткой крупноапертурной антенной решетки ФАР БЛА содержит установленные последовательно по ходу луча лазерный дальномер 1, поворотное зеркало 2, фокусирующую линзу 3, полупрозрачное зеркало 6, длиннофокусный объектив 7, подвижное зеркало 8 и оптический сканер 9, контроллер 13. На каркасе 11 установлены приемно-передающие модули 12, на которые закреплены светоотражающие элементы (СОЭ) 10 с интегрированными в них светодиодами. За полупрозрачным зеркалом 6 размещены светофильтр 5 и ПЗС-матрица 4. Данная техническая система находится под управлением контроллера 13, реализованного на базе стандартного персонального компьютера (ПК). Рассмотрим принцип работы этого устройства. На излучающих модулях антенной решетки, в их фазовых центрах, установлены светоотражательные элементы 10. Излучение лазерного дальномера 1 через поворотное зеркало 2 и линзу 3, фокусное расстояние которой сопряжено с фокусом объектива 7, полностью заполняет апертуру объектива. Распространяясь в угловом поле зрения объектива, лазерное излучение освещает некоторую область решетки, содержащую приемно-передающие модули 12. Отраженный от решетки световой поток, в обратном ходе лучей, собирается анализатором принимаемого излучения на приемник, на входе которого установлен амплитудный компаратор с порогом срабатывания, согласованным с уровнем отражения от СОЭ. Измерение дальности производится с точностью до одного миллиметра. Одновременно освещенная область решетки проецируется объективом 7 через полупрозрачное зеркало 6 и светофильтр 5 на ПЗС-матрицу 4. Спектр излучения диодов подсветки не совпадает со спектром излучения дальномера, таким образом на ПЗС-матрице 4 формируется контрастное изображение светодиодов, сопряженных с фазовым центром модуля.

На рис. 2 представлена эволюция изображения светодиода на пиксельном поле ПЗС-матрицы 1. Угловые перемещения модуля (колебания) приводят к смещению изображения 2, что позволяет измерять их угловые координаты.

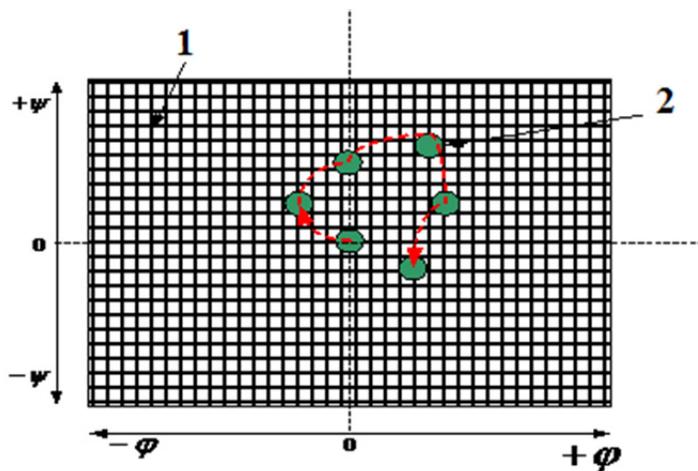


Рис. 2. Эволюция изображения объекта светодиода на пиксельном поле матрицы ПЗС:  
1 – пиксельное поле ПЗС-матрицы; 2 – изображение

Измерение соответствующих геометрических координат модулей-узлов решетки достигается последовательным сканированием длиннофокусным объективом 7 площади антенны ФАР БЛА с помощью оптического сканера. Начало системы координат связано с осью вращения зеркала сканера. Измерительное устройство управляется контроллером 13, за его основу взят типовой промышленный компьютер, оснащенный платой ввода-вывода. Модель устройства обладает следующими преимуществами: бесконтактностью измерений координат модулей-узлов, высоким пространственным разрешением положения фазового центра. Таким образом, контроль всей поверхности антенны типа ФАР БЛА достигается последовательным сканированием поля зрения объектива прецизионным сканирующим устройством. Конструкция СОЭ представлена на рис. 3.

В основу предлагаемого устройства положена согласованная работа разнородных подсистем: лазерного дальномера и ПЗС-матрицы, установленных в оптическом тракте длиннофокусного объектива, а также радиотехнической части системы ИИКС.

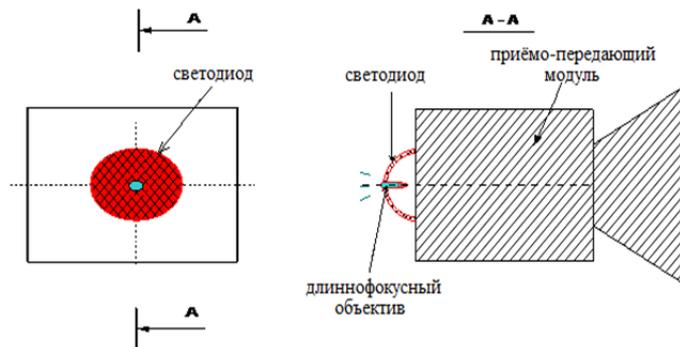


Рис. 3. Конструкция светоотражающего элемента и светодиода подсветки

### Заключение

Предлагаемая модель и метод контроля координат модулей-узлов нежесткой ФАР БЛА обеспечивает повышение пространственной избирательности радиолокационных систем обнаружения БЛА [3, 4], выполненных по современной технологии фазированных решеток.

Предложены модель и устройство для измерения геометрических координат элементов нежесткой крупноапертурной решетки относительно базовой (выбранной опорной) точки для перспективных многофункциональных систем ИИКС БЛА. В основу предлагаемого устройства положена согласованная работа разнородных подсистем: лазерного дальномера и ПЗС-матрицы, установленных в оптическом тракте длиннофокусного объектива, а также радиотехнической части системы ИИКС. Данная модель и описанное выше техническое устройство позволяют построить трехмерный график отклонений ориентаций всех излучателей от нормального положения с последующим внесением квазикогерентных сигналов коррекции в систему управления (СУ) ФАР БЛА.

### Список литературы

1. Полтавский, А. В. Математическая модель многофункционального комплекса беспилотных летательных аппаратов / А. В. Полтавский // Боеприпасы. – 2009. – № 1. – С. 70–76.
2. Полтавский, А. В. Модель измерительной системы в управлении беспилотным летательным аппаратом / А. В. Полтавский // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2009. – № 10. – С. 73–77.
3. Патент РФ № 2304760. Способ определения координат / В. В. Пашков. – 2007, Бюл. № 23.
4. Полтавский, А. В. Модель адаптивной системы управления беспилотным летательным аппаратом / А. В. Полтавский // Научный вестник МГТУ ГА. – 2008. – № 130. – С. 167–171.
5. Патент РФ № 2302030. Адаптивная система управления беспилотным летательным аппаратом по крену и тангажу / А. В. Полтавский и др. – 2007, Бюл. № 170.
6. Гладков, Д. И. Оптимизация систем неградиентным случайным поиском / Д. И. Гладков. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 356 с.
7. Гладков, Д. И. Программа неградиентного метода случайного поиска / Д. И. Гладков, А. К. Симагин. – М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1983.
8. Полтавский, А. В. Интеграции сигналов когерентной системы ГЛОНАСС/GPS / А. В. Полтавский // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 2 (6). – С. 46–50.
9. Полтавский, А. В. Модификация модели системы управления подвижным объектом / А. В. Полтавский, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 1 (5). – С. 65–70.

УДК 629.7.05

**Полтавский, А. В.**

**Методы когерентного контроля подвижных объектов / А. В. Полтавский // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 22–31.**

**Полтавский Александр Васильевич**

доктор технических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
Институт проблем управления  
Российской академии наук им. В. А. Трапезникова  
(117997, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65)  
8-(495)-334-84-79  
E-mail: avp57avp@yandex.ru

**Poltavskiy Aleksandr Vasil'evich**

doctor of technical sciences, leading researcher,  
Institute of management problems  
of Russian academy of sciences  
named after V. A. Trapeznikov  
(117997, 65 Profsoyuznaya street, Moscow, Russia)

**Аннотация.** Предлагаются методы реализации устройств когерентного контроля состояния модулей-узлов фазированной антенной решетки (ФАР) подвижного объекта. Областью применения предлагаемого контроля являются радиолокационные системы повышенной пространственной избирательности в системах обнаружения малозаметных объектов и мониторинга окружающего пространства перспективных многофункциональных беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Рассматриваются модели и устройство для селективного обнаружения малозаметных объектов в радиолокационных системах бортового комплекса управления БЛА.

**Ключевые слова:** антенна, радиолокационная система, фазированная антенная решетка.

**Abstract.** Coherent method for realizing of the device for modules-units start monitoring of phased antenna array is suggested. Application area of the coherent method includes radar systems with improved special selectivity within systems for the detection of poorly-observable objects and for monitoring at the environment of advanced multi-functional pilotless flying apparatuses. Device of selective detection of poorly-observable objects in radar systems of on-board control set at pilotless flying apparatuses is considered.

**Key words:** antenna, radar system, phased antenna array.

# АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

М. Ю. Паршуков

## *1. Принципы построения аппаратно-программного комплекса для измерения динамических параметров операционных усилителей*

Важнейшими динамическими параметрами операционных усилителей (ОУ) являются максимальная скорость нарастания выходного напряжения, частота единичного усиления и запас устойчивости по фазе. Анализ требований, предъявляемых к средствам измерений динамических параметров ОУ [1], показывает, что одновременное выполнение этих требований возможно путем создания аппаратно-программного комплекса (АПК), принципы построения которого можно сформулировать следующим образом:

1. АПК должен обладать многофункциональностью, заключающейся в выполнении комплексом нескольких различных функций, измерении нескольких параметров ОУ с помощью одних и тех же блоков аппаратной части, что позволяет избежать аппаратной избыточности, уменьшить число элементов и связей, уменьшить габариты и стоимость АПК.

2. АПК должен обладать гибкостью, заключающейся в автоматизированном изменении схемы включения ОУ и подключении различных источников сигналов к его входу и измерительных преобразователей к его выходу при измерении нескольких параметров ОУ.

3. Многофункциональность и гибкость АПК должны обеспечиваться за счет программного управления его аппаратной частью.

4. Программное обеспечение АПК должно обеспечивать управление автоматизированными процессами подготовки и проведения измерительного эксперимента, математической обработки и представления результатов измерений.

5. Программное обеспечение АПК должно обеспечивать пользователю возможность пополнения базы данных, изменения программы измерительного эксперимента и формата представления его результатов.

6. Программное обеспечение АПК должно быть совместимым с программными средствами современных автоматизированных информационно-измерительных и управляющих систем.

Для практической реализации сформулированных принципов измерения динамических параметров ОУ структура аппаратной части АПК должна содержать совокупность блоков формирования и преобразования сигналов с программным управлением, а также средства их электронной коммутации. В экспериментальных исследованиях, проведенных автором данной работы, лучшие результаты получены при использовании метода прямого цифрового синтеза ((Direct Digital Synthesis, или DDS) [2].

## *2. Преимущества формирования измерительных сигналов с помощью генераторов DDS по сравнению с аналоговыми синтезаторами частот*

Генераторы DDS находят все более широкое применение, поскольку они обладают целым рядом преимуществ по сравнению с обычными аналоговыми синтезаторами частот [3]:

- высокая точность, свойственная цифровым системам;
- непосредственное управление частотой и фазой выходного сигнала кодом, формируемым программным обеспечением АПК;
- широкий диапазон частот – от долей герц до десятков мегагерц;
- высокое разрешение по частоте (до микрогерц) и фазе (до десятых долей градуса);
- высокая скорость перестройки частоты (или фазы), которая ограничивается лишь быстродействием его цифрового интерфейса;

- перестройка по частоте без разрыва фазы, без выбросов и переходных процессов установления выходного напряжения;
- отсутствие явлений старения, температурного и временного дрейфа.

К недостаткам DDS можно отнести большое количество побочных гармоник, возникающих в процессе формирования сигнала, дискретность установки частоты, а также неравномерность амплитудно-частотной характеристики на протяжении всего диапазона рабочих частот. Эти недостатки генератора DDS не являются критическими, их влияние может быть существенно снижено применением ряда технических решений.

### 3. АПК на основе генератора прямого цифрового синтеза (DDS)

На основе генератора DDS автором разработан АПК для измерения динамических параметров ОУ, структурная схема аппаратной части которого представлена на рис. 1. Аппаратная часть комплекса содержит устройства, выполняющие все необходимые операции при проверке работоспособности и измерении динамических параметров ОУ.

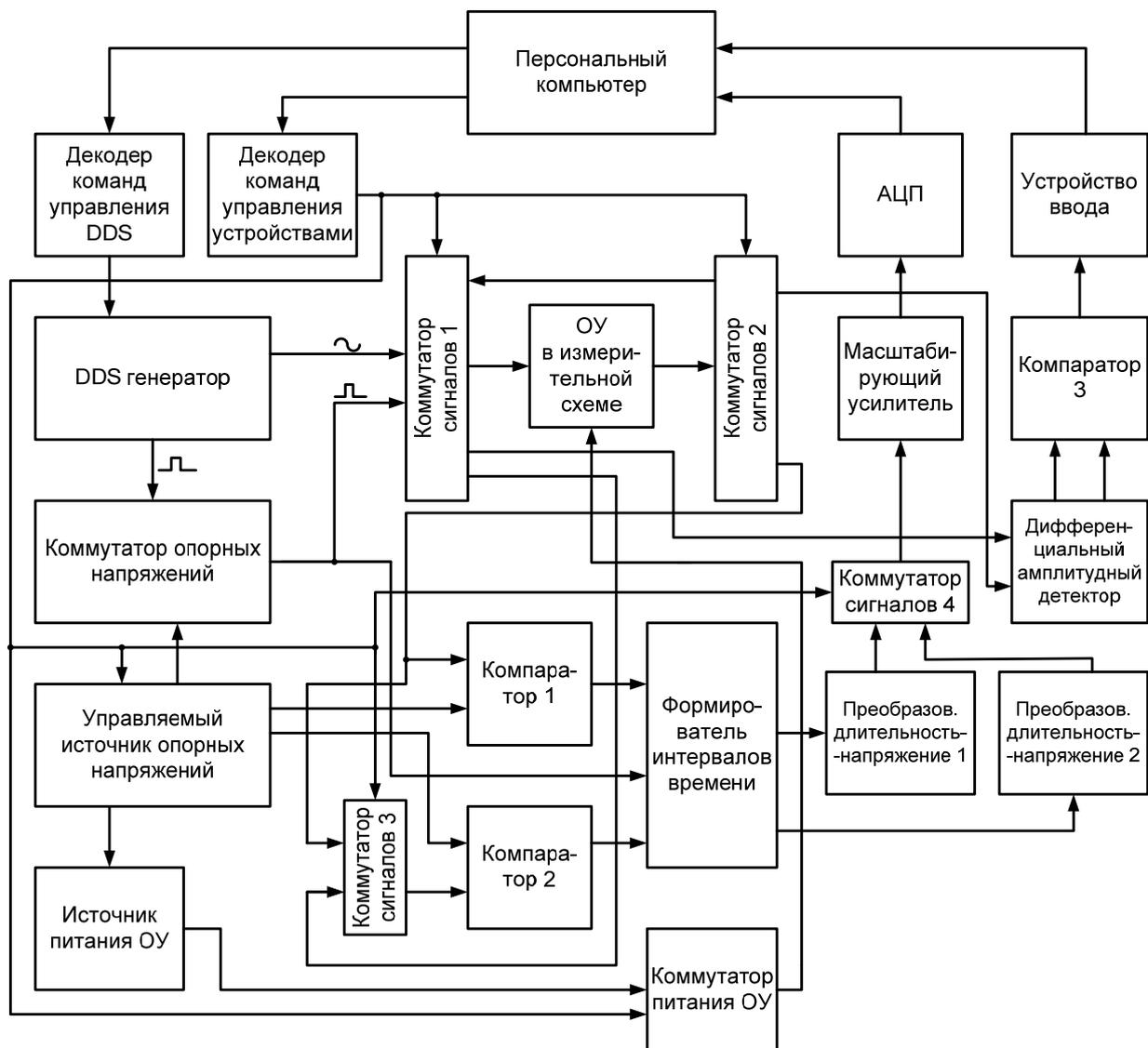


Рис. 1. Структурная схема АПК для измерения параметров ОУ на основе генератора прямого цифрового синтеза (DDS)

1. Для подключения ОУ с разным конструктивным исполнением корпусов микросхем и разным числом ОУ в корпусе предусмотрен набор соответствующих контактирующих устройств.

2. Для создания измерительных схем в виде инвертирующего или неинвертирующего усилителей с разными коэффициентами усиления с целью проверки работоспособности, а затем последовательного измерения динамических параметров ОУ используются коммутаторы сигналов 1 и 2, с помощью которых:

- видоизменяется измерительная схема;
- на вход измерительной схемы подается измерительный сигнал;
- выход измерительной схемы подключается к соответствующему измерительному преобразователю.

3. Коммутатор питания ОУ подает предусмотренные управляющей программой необходимые напряжения с выходов источника питания ОУ.

4. Для обеспечения программного управления коммутаторами сигналов и коммутатором питания ОУ используется декодер команд управления устройствами, построенный на основе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) Xilinx и моста USB-FiFO.

5. Декодер команд управления DDS осуществляет чтение из порта персонального компьютера данных, подготовленных управляющей программой, производящей в соответствии с программой эксперимента расчет и формирование кода управления, включая код запуска, код настройки параметров, код частоты и код начальной фазы. С выхода декодера код управления поступает на управляющие входы генератора DDS.

6. DDS-генератор гармонических и импульсных измерительных сигналов построен на основе интегральной микросхемы синтезатора AD9851 [4]. Диапазон частот – от 0,1 Гц до 45 МГц. При допустимом уровне искажений выходного сигнала данный генератор обеспечивает высокую точность установки и поддержания частоты выходного сигнала.

На рис. 2 приведена предложенная автором структурная схема DDS-генератора измерительных сигналов, используемого в АПК для измерения динамических параметров ОУ [5].

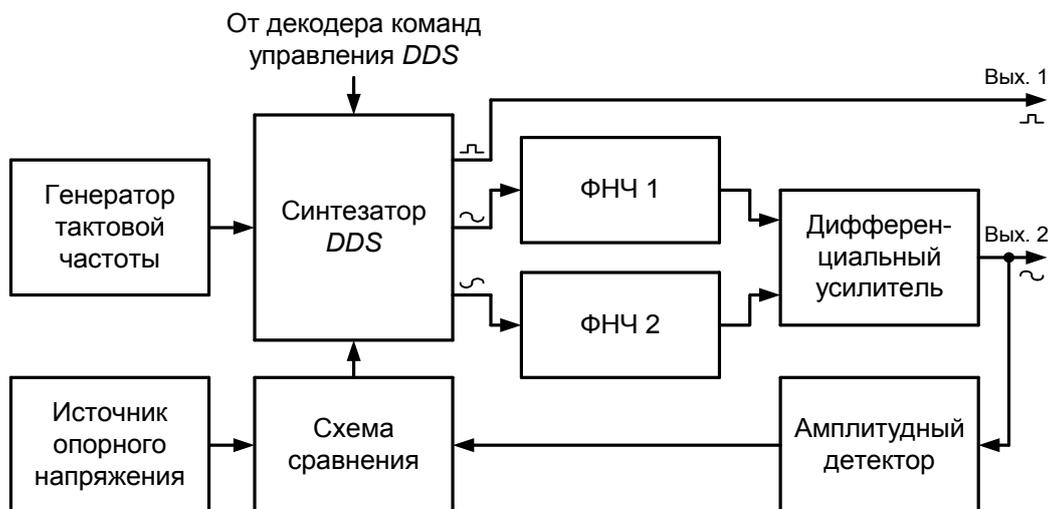


Рис. 2. Структурная схема DDS-генератора измерительных сигналов

Управление синтезатором DDS осуществляется кодом управления с выхода декодера команд. Генератор тактовой частоты, представляющий собой осциллятор с высокой стабильностью частоты, подключен к тактовому входу синтезатора. Частота тактового генератора 27 МГц умножается на шесть внутренней схемой DDS-синтезатора. В результате тактовая частота синтезатора составляет 162 МГц.

Выходной ЦАП DDS-синтезатора имеет два выхода, на которых формируются прямой и инверсный синусоидальные сигналы, не имеющие фазовых задержек, так как их формирование осуществляется параллельным управлением двумя матрицами ЦАП. Выходные сигналы DDS-синтезатора поступают на входы фильтров нижних частот ФНЧ1 и ФНЧ2, осуществляющих ограничение спектра выходных сигналов по частоте до 45 МГц. Дифференциальный усилитель осуществляет сложение в противофазе сигналов с выходов фильтров. Применение такой структуры включения ФНЧ и дифференциального усилителя позволило побороть первый недостаток

DDS-синтезатора, а именно: наличие внеполосных побочных гармоник в спектре выходного сигнала. Гармоники тактовой частоты, входящие в полосу рабочих частот, удалось подавить за счет того, что эти гармоники синфазно проникают на оба выхода DDS-синтезатора. Суммирование прямого и инверсного выходных синусоидальных сигналов DDS-синтезатора с помощью дифференциального усилителя позволило увеличить амплитуду гармоник полезного сигнала в два раза, а также подавить гармоники тактовой частоты и ослабить комбинационные гармоники.

В результате на выходе 2 схемы DDS-генератора измерительных сигналов получается гармонический сигнал синусоидальной формы. Для стабилизации амплитуды выходного сигнала на определенном уровне в схему введена цепь автоматической регулировки уровня, состоящая из амплитудного детектора, источника опорного напряжения, задающего стабилизированный уровень выходного сигнала, и схемы сравнения, сигнал с выхода которой поступает на вход установки рабочего тока матриц ЦАП DDS-синтезатора.

Импульсный сигнал прямоугольной формы на выходе 1 генератора получается в результате прохождения выходного сигнала синтезатора через встроенный быстродействующий компаратор. Данный сигнал будет использоваться для измерения скорости нарастания и спада выходного напряжения ОУ.

7. Программно управляемый источник опорных напряжений в соответствии с программой измерительного эксперимента вырабатывает все необходимые стабилизированные постоянные напряжения положительной и отрицательной полярности. Эти напряжения подаются на коммутатор опорных напряжений, который под управлением сигнала с выхода DDS генератора формирует последовательность однополярных или двухполярных прямоугольных импульсов со стабильной амплитудой, поступающих на инвертирующий или неинвертирующий вход исследуемого ОУ через коммутатор сигналов 1, а также на один из входов формирователя интервалов времени.

8. Выходное напряжение ОУ через коммутатор сигналов 2 поступает на вход дифференциального амплитудного детектора в режиме измерения частоты единичного усиления ОУ, а в режимах измерения максимальных скоростей нарастания и спада выходного напряжения ОУ и запаса устойчивости ОУ по фазе – на входы компаратора 1 и компаратора 2 (через коммутатор сигналов 3). Выходные напряжения компараторов 1 и 2 поступают на входы формирователя интервалов времени.

9. Формирователь интервалов времени вырабатывает прямоугольные импульсы, длительность которых при измерении разных параметров ОУ пропорциональна времени нарастания и спада выходного напряжения ОУ или временной задержке выходного синусоидального напряжения ОУ относительно входного напряжения на частоте единичного усиления ОУ.

10. Первый и второй преобразователи длительности интервалов времени в напряжение формируют постоянные напряжения, пропорциональные времени нарастания и спада выходного напряжения ОУ или временной задержке выходного напряжения ОУ. Эти напряжения через коммутатор сигналов 4 поступают на масштабирующий усилитель и далее на вход АЦП, с выхода которого цифровой код поступает на порт персонального компьютера для ввода в программу обработки результатов измерений информации, необходимой для вычисления значений скоростей нарастания и спада выходного напряжения ОУ. Предложен также и другой вариант построения схемы [6], содержащий два масштабирующих усилителя, подключенных непосредственно к выходам первого и второго преобразователей длительности интервалов времени в напряжение, а также два АЦП, выходы которых подключены к персональному компьютеру. Применение второго варианта построения схемы позволяет повысить ее быстродействие при измерении максимальных скоростей нарастания и спада выходного напряжения ОУ за счет устранения переходных процессов, возникающих при поочередном подключении с помощью коммутатора сигналов 4 выходов преобразователей длительности интервалов времени в напряжение к входу масштабирующего усилителя [7].

11. В режиме измерения частоты единичного усиления ОУ на входы дифференциального амплитудного детектора через коммутаторы сигналов 1 и 2 поступают синусоидальные сигналы со входа и выхода ОУ. Дифференциальный амплитудный детектор выделяет огибающие этих сигналов и подает их на входы компаратора 3 для сравнения их амплитуд. Для обеспечения идентичности каналов дифференциального амплитудного детектора использована сборка диодов Шоттки на одной подложке HSMS-286K-BLKG. Выход компаратора 3 через устройство ввода подключен к порту персонального компьютера для ввода информации о состоянии компаратора 3

в программу, управляющую измерительным экспериментом в соответствии с алгоритмом измерения частоты единичного усиления ОУ [8–9].

Таким образом, аппаратная часть АПК, построенного в соответствии со структурной схемой рис. 1, выполняет все операции, необходимые для измерения динамических параметров ОУ:

- декодирование и распределение команд управляющей программы по соответствующим устройствам;

- коммутацию измерительных цепей, коммутацию входных сигналов от формирователей к схеме измерения, коммутацию выходных сигналов из схемы измерения к соответствующему преобразователю;

- управление питанием исследуемого ОУ и блоков АПК;

- предварительную проверку работоспособности исследуемого ОУ и оценку возможности дальнейших измерений параметров ОУ;

- формирование измерительных синусоидальных и импульсных сигналов и опорных напряжений в соответствии с программой измерительного эксперимента;

- сравнение амплитуд синусоидальных напряжений на входе и выходе исследуемого ОУ;

- выделение временных интервалов, длительности которых пропорциональны времени нарастания и спада выходного напряжения ОУ и временной задержке выходного синусоидального напряжения ОУ относительно входного напряжения на частоте единичного усиления;

- преобразование длительности этих интервалов времени в пропорциональные напряжения, а затем в коды для последующей передачи в программную часть.

Программная часть АПК обеспечивает автоматизированное выполнение алгоритмов измерительных процессов, включая:

- тестирование работоспособности блоков аппаратной части;

- проведение измерительного эксперимента, предусматривающего проверку работоспособности ОУ и измерение параметров ОУ с формированием управляющих сигналов для элементов аппаратной части комплекса и регистрацией результатов измерений;

- выполнение необходимых вычислений при обработке результатов измерений;

- формирование отчета по результатам измерений;

- рассортировку ОУ на группы по измеренным значениям параметров и подбор ОУ с близкими значениями параметров;

- расчет параметров Spice-макромодели ОУ и составление ее текстового описания с учетом измеренных параметров.

Программная часть АПК разработана в среде графического программирования LabVIEW фирмы National Instruments, отличающейся простотой программирования, возможностью быстрой отладки приложений, а также оформления полученного программного продукта в установочный пакет для последующего использования вне среды разработки.

### *Заключение*

Практическая реализация АПК и его экспериментальные исследования показали возможность автоматизированного измерения основных динамических параметров ОУ с относительной погрешностью, не превышающей 5 %. Такие показатели можно считать приемлемыми, поскольку по ГОСТ 23089.0–78 погрешность измерений параметров ОУ в динамическом режиме должна находиться в пределах  $\pm 10\%$ . Верхнее значение диапазона измерения частоты единичного усиления ОУ составило 40 МГц, а верхнее значение диапазона измерения максимальной скорости нарастания выходного напряжения ОУ составило 50 В/мкс.

### *Список литературы*

1. Методики входного контроля параметров операционных усилителей / М. Ю. Паршуков, А. В. Светлов, В. В. Комаров, Е. В. Сапунов // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 2. – С. 56–61.
2. Ридико, Л. И. DDS: прямой цифровой синтез частоты / Л. И. Ридико // Компоненты и технологии. – 2001. – № 7. – С. 50–54.
3. Murphy, E. Direct Digital Synthesis (DDS). Controls Waveforms in Test, Measurement, and Communications / Eva Murphy, Colm Slattery // Analog Dialogue 39-08. – 2005. – August. – URL: [http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/39-08/dds\\_apps.pdf](http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/39-08/dds_apps.pdf).

4. AD9851 CMOS 180 MHz DDS/DAC Synthesizer // Analog Devices, Inc. – 2004. – URL: [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD9851.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD9851.pdf).
5. Пат. на полезную модель № 123966 Российская Федерация. МПК: G01R 17/00. Формирователь тестовых сигналов для исследования частотных характеристик операционных усилителей / В. В. Комаров, М. Ю. Паршуков, Е. В. Сапунов, А. В. Светлов. – Заявка 2012130800/28(048398), 18.07.2012. – Оpubл. 10.01.2013, Бюл. № 1.
6. Измерители динамических параметров операционных усилителей / М. Ю. Паршуков, А. В. Светлов, В. В. Комаров, Е. В. Сапунов // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2014. – Т. 2. – С. 100–102.
7. Методика измерения частоты единичного усиления операционных усилителей / М. Ю. Паршуков, А. В. Светлов, В. В. Комаров, Е. В. Сапунов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2014. – № 2. – С. 41–51.
8. Цыпин, Б. В. Диагностика интегральных операционных усилителей, установленных на платах / Б. В. Цыпин, Н. К. Юрков // Измерительная техника. – 2002. – № 2. – С. 64–66.
9. Tsy-pin, B. V. Diagnostics of Integrated Operational Amplifiers Mounted on Circuit Boards Measurement Techniques / B. V. Tsy-pin, N. K. Yurkov. – N. Y. : Springer, 2002. – February. – V. 45, № 2. – P. 210–213.

УДК 621.317.3

*Паршуков, М. Ю.*

**Аппаратно-программный комплекс для измерения динамических параметров операционных усилителей** / М. Ю. Паршуков // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 32–37.

*Паршуков Максим Юрьевич*

аспирант, инженер,  
кафедра радиотехники и радиоэлектронных систем,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: parshucow@bk.ru

**Аннотация.** Рассмотрены принципы построения и структурная схема аппаратно-программного комплекса для измерения динамических параметров операционных усилителей. Показаны преимущества формирования измерительных сигналов с помощью генераторов прямого цифрового синтеза (DDS) по сравнению с аналоговыми синтезаторами частот.

**Ключевые слова:** операционный усилитель, динамические параметры, измерение, аппаратно-программный комплекс, генератор прямого цифрового синтеза (DDS).

*Parshukov Maksim Yur'evich*

postgraduate student, engineer,  
sub-department of radio and radio-electronic systems,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Abstract.** The article were considered the principles of construction and structural diagram hardware and software complex for measuring the dynamic parameters of the operational amplifiers. The advantages of forming the measuring signals using generators of direct digital synthesis (DDS) as compared with the analog frequency synthesizers.

**Key words:** operational amplifier, dynamic parameters, measurement, hardware and software complex, generators of direct digital synthesis (DDS).

## АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ВХОДНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ В СРЕДЕ MATLAB

В. В. Маркелов, А. И. Власов, Д. Е. Зотьева

### *Введение*

Этой статьей мы открываем цикл работ, посвященных реализации инструментов и методик контроля качества изделий электронной техники в среде MathLab.

На этапе производства Статистический Контроль Производства (Statistical Process Control – SPC) является важнейшим инструментом [1–5], позволяющим выявить источники изменчивости процесса и отслеживать его таким образом, чтобы предотвращать появление новых источников ухудшения процесса. Процесс производства начинается с входного контроля качества материалов и комплектующих изделий. Внедрение статистических методов контроля на этапе входного контроля на производстве позволяет снизить затраты на все последующие контрольные мероприятия и обеспечить следующие улучшения на этапе производства [6, 7]:

- повышение качества закупаемого сырья и комплектующих изделий;
- экономия сырья и рабочей силы;
- повышение качества производимой продукции;
- снижение количества брака;
- снижение затрат на проведение контроля;
- улучшение взаимосвязи между производством и потребителем.

Требования к поставщику и поставляемым комплектующим изделиям необходимо устанавливать еще на этапе планирования производства. Эти требования можно сформулировать только на основании проанализированных данных, полученных ранее на этапе входного контроля.

Для анализа данных, полученных в результате входного контроля, необходимы соответствующие методы и инструменты статистического анализа. Желательно, чтобы эти методы были просты в использовании и легко воспринимались любым сотрудником, независимо от уровня его образования [7, 8]. В Японии в начале 60-х гг. из множества статистических методов были выбраны семь наиболее эффективных и доступных статистических методов: расслоение данных, гистограмма, диаграмма Парето, причинно-следственная диаграмма, диаграмма разброса, контрольная карта и контрольный лист. Они получили название «Семь инструментов контроля качества». Эти методы можно рассматривать как отдельные инструменты и как систему методов [7].

Использование любого из видов контроля зависит в первую очередь от условий проведения контроля, стоящих задач и себестоимости проведения контроля для конкретных моделей производственных процессов [9–17]. Статистический контроль по альтернативному признаку является наиболее общим. Далее в статье будет рассматриваться реализация процедур входного статистического контроля качества по альтернативному признаку электронной аппаратуры в среде MathLab.

### *1. Методика входного статистического контроля качества электронной аппаратуры по альтернативному признаку в среде MathLab*

Основной характеристикой партии изделий при контроле по альтернативному признаку является **генеральная доля дефектных изделий**  $q = \frac{D}{N}$ , где  $D$  – число дефектных изделий в партии объемом  $N$  изделий [2–5]. Первым шагом анализа в среде MathLab является задание исходных данных (рис. 1).

```
>> N=1000;
>> D=27;
>> q=D/N

q =

    0.0270
```

Рис. 1. Задание исходных данных для анализа в среде Matlab

При осуществлении статистического контроля генеральная доля  $q$  не известна и следует оценить ее по результатам контроля случайной выборки объемом  $n$  изделий, из которых  $m$  дефектных (рис. 2).

```
>> n=200;
>> m=7;
>> qq=m/n

qq =

    0.0350
```

Рис. 2. Оценка генеральной доли  $q$

План статистического контроля – система правил, указывающих методы отбора изделий для проверки, и условия, при которых партию следует принять, забраковать или продолжить контроль [7].

При использовании методов выборочного контроля решение о качестве всей партии принимается по данным выборочных наблюдений. В этой связи всегда существует риск, что в случайной выборке окажется большое число дефектных изделий, тогда как во всей партии их доля допустима. В этом случае годная партия будет ошибочно забракована и совершена так называемая **ошибка первого рода**. С другой стороны, при сильной засоренности партии дефектными изделиями в выборке может оказаться небольшое число дефектов, и партия низкого качества будет ошибочно принята. В этом случае имеет место **ошибка второго рода** [3–5].

Задача выборочного приемочного контроля фактически сводится к статистической проверке гипотезы о том, что доля дефектных изделий  $q$  в партии равна допустимой величине  $q_0$ , т.е.  $H_0: q = q_0$ .

Задача правильного выбора плана статистического контроля состоит в том, чтобы сделать ошибки первого и второго рода маловероятными.

Основным вероятностным показателем плана статистического контроля является оперативная характеристика.

## 2. Построение оперативной характеристики

**Оперативной характеристикой плана** называется функция  $P(q)$ , равная вероятности принять партию продукции с долей дефектных изделий  $q = \frac{D}{N}$ , где  $D$  – число дефектных изделий в партии из  $N$  изделий [3–5]. Очевидно, что для каждого плана будет своя оперативная характеристика. Пусть из экономических или каких-либо других соображений установлено, что если  $q < q_0$ , то качество партии считается хорошим и партию следует принять. При  $q \geq q_0$  партию следует забраковать. В идеальном случае оперативной характеристикой будет линия постоянного уровня, которая приводится на рис. 3.

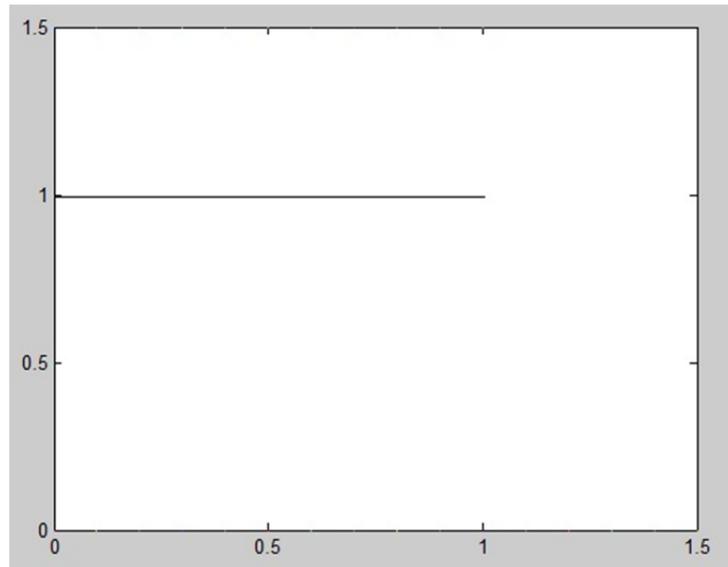


Рис. 3. Идеальная оперативная характеристика

Идеальная оперативная характеристика может соответствовать только плану сплошного контроля при условии, что во время контроля дефект не может быть пропущен.

Для планов выборочного контроля оперативная характеристика имеет вид плавной кривой (рис. 4). Причем  $P(q) = 1$  при  $q = 0$ , т.е. партия, у которой все изделия годные, не может быть забракована, и  $P(q) = 0$  при  $q = 1$ , т.е. партия, у которой все изделия дефектные, не может быть принята.

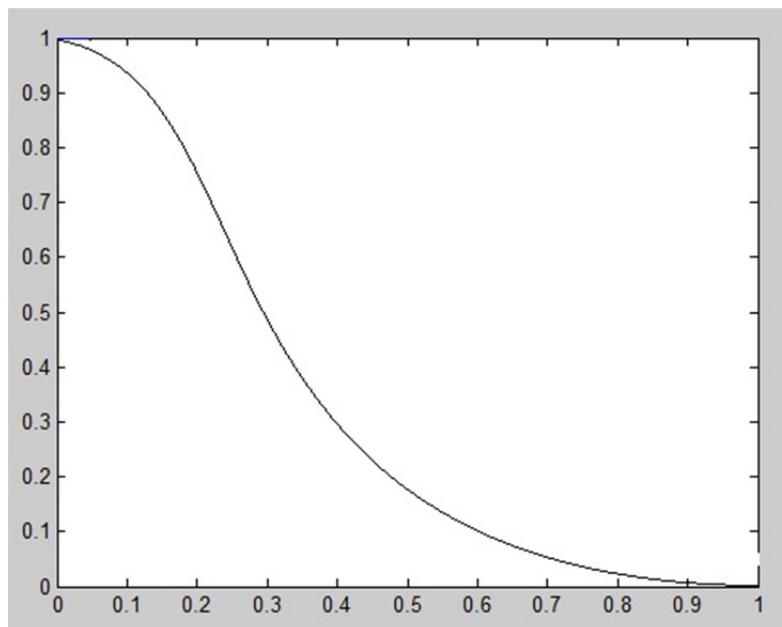


Рис. 4. Оперативная характеристика плана выборочного контроля

Обычно при выборочном контроле партии разделяют на **хорошие** и **плохие** с помощью двух чисел  $q_0$  и  $q_m$  ( $q_0 < q_m$ ), где  $q_0$  – приемочный, а  $q_m$  – браковочный уровни дефектности.

Приемочным уровнем дефектности  $q_0$  будем называть предельно допустимое значение доли дефектных изделий в партии, изготовленной при нормальном ходе производства.

Браковочный уровень дефектности  $q_m$  определяет границу для отнесения партии продукции к браку. Партии считаются хорошими при  $q \leq q_0$  и плохими при  $q \geq q_m$ . При  $q_0 < q < q_m$  качество партии считается еще допустимым.

Значения  $q_0$  и  $q_m$  должны отвечать определенным требованиям поставщика и потребителя (технической документации) к качеству продукции. Обычно к плану контроля предъявляются следующие требования:

$$\begin{aligned} P(q) &\geq 1 - \alpha \text{ при } q \leq q_0; \\ P(q) &\leq \beta \text{ при } q \geq q_m. \end{aligned} \quad (2)$$

Вероятность  $\alpha$  забраковать партию с приемлемым уровнем дефектности  $q = q_0$  называют **риском поставщика** или вероятностью ошибки первого рода, а вероятность  $\beta$  принять партию с браковочным уровнем дефектности  $q = q_m$  – **риском потребителя** или вероятностью ошибки второго рода. Таким образом, требования к плану выборочного контроля могут сводиться к тому, чтобы риски поставщика и потребителя не превышали  $\alpha$  и  $\beta$  [6–17].

В стандартах по статистическому контролю используются только некоторые значения  $\alpha$ ,  $\beta$ , например 0,01; 0,05; 0,1. Если имеется план контроля, который гарантирует  $\alpha = 0,01$  и  $\beta = 0,05$  при значениях доли дефектных изделий  $q_0 = 0,005$  и  $q_m = 0,0$ , то для этого в среднем из каждых 100 партий, имеющих засоренность не выше 0,5 %, будет забраковано не больше одной, а из 100 партий, содержащих более 2 % дефектных изделий, в среднем будет принято не более пяти партий.

На практике часто  $q_0$  берут немного большим доли дефектных изделий, которая имеет место при нормальном ходе производства, чем и гарантируют прием почти всех партий, изготовленных при налаженном технологическом процессе. Значения  $\beta$  и  $q_m$  выбираются с учетом требований потребителя [5].

При использовании планов выборочного контроля по результатам проверки выборки обычно принимают одно из следующих решений:

- 1) принять не проконтролированную (оставшуюся) часть партии без дальнейшего контроля;
- 2) отвергнуть оставшуюся часть партии, не осуществляя контроль;
- 3) провести сплошной контроль оставшейся части партии.

### *Заключение*

Различают следующие виды статистического контроля партии продукции по альтернативному признаку:

– одноступенчатый контроль – статистический контроль, характеризующийся тем, что решение относительно приемки партии продукции принимают по результатам контроля только одной выборки;

– двухступенчатый контроль – статистический контроль, характеризующийся тем, что решение относительно приемки партии продукции принимают по результатам контроля не более двух выборок, причем необходимость отбора второй выборки зависит от результатов контроля первой выборки;

– многоступенчатый контроль – статистический контроль, характеризующийся тем, что решение относительно приемки партии продукции принимают по результатам контроля нескольких выборок, максимальное число которых установлено заранее, причем необходимость отбора последующей выборки зависит от результатов контроля предыдущих выборок;

– последовательный контроль – статистический контроль, характеризующийся тем, что решение относительно приемки партии продукции принимают по результатам контроля нескольких выборок, максимальное число которых не установлено заранее, причем необходимость выборки зависит от результатов контроля предыдущих выборок.

Вопросы автоматизации анализа в среде MathLab по каждому из приведенных выше видов статистического контроля будут рассмотрены в отдельных статьях цикла.

Практическая ценность работы состоит в том, что проведенный анализ систем статистического контроля и предложенный инструментарий в среде MathLab позволят сделать правильный выбор необходимых методов в зависимости от решаемых задач на предприятии и необходимого набора функций требуемой системы.

Разработанная автоматизированная система анализа результатов входного контроля может быть использована на малых и средних предприятиях в качестве инструмента для визуализации результатов входного контроля и в качестве инструмента для принятия управленческих решений на основе полученных данных. Также разработанная система может быть использована в качестве прототипа для более сложной системы контроля и управления качеством.

**Список литературы**

1. Конструкторско-технологическое проектирование электронных средств / под общ. ред. В. А. Шахнова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 568 с.
2. Хэнсен, Б. Л. Контроль качества. Теория и применение : пер. с англ. / Б. Л. Хэнсен. – М. : Прогресс, 1968. – 357 с.
3. Статистические методы контроля качества продукции : пер. с англ. / Л. Ноулер [и др.]. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 96 с.
4. Управление качеством электронных средств : учеб. для вузов / О. П. Глудкин [и др.]. – М. : Высшая школа, 1999. – 414 с.
5. Глудкин, О. П. Всеобщее управление качеством : учеб. для вузов / О. П. Глудкин. – М. : Радио и связь, 1999. – 352 с.
6. Маркелов, В. В. Системный анализ процесса управления качеством изделий электронной техники / В. В. Маркелов, А. И. Власов, Э. Н. Камышная // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 1 (5). – С. 35–43
7. Маркелов, В. В. Управление и контроль качества изделий электронной техники. Семь основных инструментов системного анализа при управлении качеством изделий электронной техники / В. В. Маркелов, А. И. Власов, Д. Е. Зотьева // Датчики и системы. – 2014. – № 8. – С. 55–67.
8. Власов, А. И. Визуальные модели управления качеством на предприятиях электроники / А. И. Власов, А. М. Иванов // Наука и образование : электронное научно-техническое издание. – 2011. – № 11. – С. 34.
9. Современные методы и средства обеспечения качества в условиях комплексной автоматизации / В. Г. Дудко, К. Д. Верейнов, А. И. Власов, А. Г. Тимошкин // Вопросы Радиоэлектроники. Сер. АСУПР. – 1996. – № 2. – С. 54–72.
10. Еланцев, А. В. Автоматизированный контроль и испытания электронной аппаратуры / А. В. Еланцев, В. В. Маркелов. – М. : Изд-во МГТУ, 1990. – 51 с.
11. Власов, А. И. Системный анализ технологических процессов производства сложных технических систем с использованием визуальных моделей / А. И. Власов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. – № 10, ч. 2. – С. 17–26.
12. Власов, А. И. Методы генерационного визуального синтеза технических решений в области микронаносистем / А. И. Власов, Л. В. Журавлева, Г. Г. Тимофеев // Научное обозрение. – 2013. – № 1. – С. 107–111.
13. Власов, А. И. Пространственная модель оценки эволюции методов визуального проектирования сложных систем / А. И. Власов // Датчики и системы. – 2013. – № 9. – С. 10–28.
14. Адамова, А. А. Методологические основы обеспечения технологичности электронных средств / А. А. Адамова, А. П. Адамов, Г. Х. Ирзаев. – СПб. : Политехника, 2008.
15. Адамова, А. А. Моделирование бизнес-процесса корпорации на примере электронных средств / А. А. Адамова, А. В. Черняев // Проектирование и технология электронных средств. – 2002. – № 5. – С. 45–49.
16. Адамова, А. А. К проблеме автоматизированной количественной оценки технологичности современных электронных средств / А. А. Адамова, А. П. Адамов, Г. Х. Ирзаев // Проектирование и технология электронных средств. – 2006. – № 4. – С. 57–61.
17. Адамова, А. А. К решению задач моделирования типовых радиоэлектронных и электронных средств / А. А. Адамова // Проектирование и технология электронных средств. – 2009. – № 4. – С. 37–42.

УДК: 681.321

**Маркелов, В. В.**

**Автоматизация методов входного статистического контроля при управлении качеством изделий электронной техники в среде MathLab** / В. В. Маркелов, А. И. Власов, Д. Е. Зотьева // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 38–43.

**Маркелов Виктор Васильевич**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра проектирования и технологии производства  
радиоэлектронной аппаратуры,  
Московский государственный  
технический университет им. Н. Э. Баумана  
(105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1)  
8-(499)-263-62-26  
E-mail: info@iu4.bmstu.ru

**Markelov Viktor Vasil'evich**

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of engineering and manufacturing  
technology of radio-electronic equipment,  
Moscow state technical university  
named after N. A. Bauman  
(105005, page 1, 5, 2-ya Baumanskaya street,  
Moscow, Russia)

***Власов Андрей Игоревич***

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра проектирования и технологии производства  
радиоэлектронной аппаратуры,  
Московский государственный  
технический университет им. Н. Э. Баумана  
(105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1)  
8-(499)-263-62-26  
E-mail: vlasov@iu4.ru

***Зотьева Дарья Евгеньевна***

студент,  
кафедра проектирования и технологии производства  
радиоэлектронной аппаратуры,  
Московский государственный  
технический университет им. Н. Э. Баумана,  
(105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1)  
8-(499)-263-65-53  
E-mail: maxaonk@ya.ru

***Аннотация.*** Проанализированы возможности автоматизации методов входного статистического контроля при управлении качеством изделий электронной техники в среде MathLab. Данная работа посвящена исследованию методов статистического контроля по альтернативному признаку. Исследованы одноступенчатый, двухступенчатый, многоступенчатый и последовательные контроли. Представлены инструменты в среде MathLab для обработки результатов статистического контроля. Рассмотрены гистограмма, диаграмма Парето и контрольные карты по качественному признаку.

***Ключевые слова:*** входной контроль, управление качеством, электронная аппаратура, MathLab.

***Vlasov Andrey Igorevich***

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of engineering and manufacturing  
technology of radio-electronic equipment,  
Moscow state technical university  
named after N. A. Bauman  
(105005, page 1, 5, 2-ya Baumanskaya street,  
Moscow, Russia)

***Zot'eva Dar'ya Evgen'evna***

student,  
sub-department of engineering and manufacturing  
technology of radio-electronic equipment,  
Moscow state technical university  
named after N. A. Bauman,  
(105005, page 1, 5, 2-ya Baumanskaya street,  
Moscow, Russia)

***Abstract.*** The paper analyzes the possibility of automating the input methods of statistical control in the management of quality electronic products in the environment MathLab. This paper investigates the methods of statistical control by attributes. Studied single-stage, two-stage, multi-stage and sequential control. Tools presented in MathLab environment for processing the results of statistical control. We consider the histogram, Pareto diagrams and checklists by attributes.

***Key words:*** input control, quality management, electronic equipment, MathLab.

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ПУТЕМ КОРРЕКЦИИ GPS СИГНАЛА ФИЛЬТРОМ КАЛМАНА

Д. Д. Малинин, А. Е. Шаралапов

В современных мобильных робототехнических системах приоритетной задачей является перемещение робота в недетерминированной среде. В связи с этим используют спутниковые системы навигации, такие как «GPS», «ГЛОНАСС», «Галилео». Данные системы решают задачу глобального позиционирования в мобильных роботах, но дают неудовлетворительную точность, так как на них действуют ошибки распространения навигационного сигнала. Для улучшения качества позиционирования необходимо провести фильтрацию исходного сигнала. Оптимальным методом является фильтр Калмана, так как он работает с априорной информацией о конечной системе и не требует накопления данных сигнала.

Фильтр Калмана использует динамическую модель системы (например, физический закон движения), известные управляющие воздействия и множество последовательных измерений для формирования оптимальной оценки состояния. Алгоритм состоит из двух повторяющихся фаз: предсказание и корректировка. На первом рассчитывается предсказание состояния в следующий момент времени (с учетом неточности их измерения). На втором новая информация с датчика корректирует предсказанное значение (также с учетом неточности и зашумленности этой информации).

На рис. 1 представлена модель движения мобильной платформы. Обозначим за  $x_k$  измеряемую величину. В случае рассматриваемой системы  $x_k$  – координата.

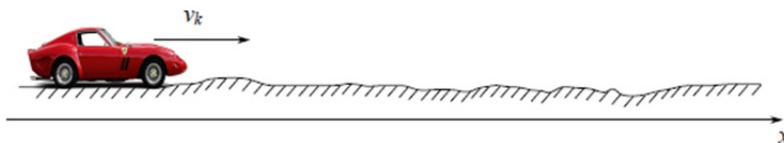


Рис. 1. Модель движения мобильной платформы

Координата мобильной платформы изменяется по закону:

$$x_{k+1} = x_k + u_k dt. \quad (1)$$

В реальной системе необходимо учитывать возмущения, действующие на платформу, поэтому к правой части уравнения (1) добавится случайная величина  $\xi_k$ :

$$x_{k+1} = x_k + u_k dt + \xi_k. \quad (2)$$

На мобильной платформе установлен сенсор, который получает геодезические координаты  $x_k$ , к этим координатам добавляется ошибка распространения навигационного сигнала  $\eta_k$ , которая является случайной величиной, в итоге с сенсора получают ошибочные данные:

$$z_k = x_k + \eta_k. \quad (3)$$

Задача фильтрации состоит в том, чтобы, зная неверные показания сенсора  $z_k$ , найти достаточное приближение для истинной координаты мобильной платформы  $x_k$ . Обозначим достаточное приближение как  $x_{opt}$ . Учитывая вышесказанное, конечное уравнение системы для мобильной платформы с установленным сенсором глобального позиционирования будет иметь вид

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + u_k dt + \xi_k \\ z_k = x_k + \eta_k \end{cases}, \quad (4)$$

где  $u_k$  – известная величина, которая контролирует эволюцию системы, известна из построенной физической модели;  $\xi_k, \eta_k$  – ошибка модели и ошибка сенсора соответственно. Случайные величины, их законы распределения не зависят от времени.

Необходимо отметить, что для рассматриваемой системы закон распределения случайных величин неизвестен, но известны дисперсии  $\sigma_\xi^2$  и  $\sigma_\eta^2$ .

Предположим, что на  $k$ -м шаге известно отфильтрованное значение с сенсора  $x_k^{opt}$ , которое достаточно приближает истинную координату  $x_k$ , поэтому на шаге  $k + 1$  система эволюционирует согласно закону (2) и показания с сенсора будут близки к  $x_k^{opt} + u_k$ . Также на шаге  $k + 1$  становится известно неточное показание сенсора  $z_k + 1$ .

Исходя из вышесказанного, задача адаптации фильтра Калмана для использования с глобальной системой координат состоит в том, чтобы получить наилучшее приближение к истинной координате  $x_{k+1}$ , из ошибочных показаний сенсора  $z_k + 1$  и  $x_k^{opt} + u_k$  – предсказанием истинного значения. Показанию сенсора присваивается вес  $K$ , а к предсказанному значению  $(1 - K)$ :

$$x_{k+1}^{opt} = K * z_{k+1} + (1 - K) * (x_k^{opt} + u_k), \quad (5)$$

где  $K$  – коэффициент Калмана, зависящий от шага итерации.

Коэффициент Калмана выбирается таким образом, чтобы получившееся оптимальное значение координаты  $x_{k+1}^{opt}$  было наиболее близко к истинной координате  $x_k + 1$ . Например, если известно, что сенсор глобального позиционирования обладает высокой точностью, то, доверяя его точности, значению  $z_k + 1$  устанавливается больший вес ( $K \approx 1$ ). Если же сенсор не обладает удовлетворительной точностью, тогда в дальнейшем необходимо ориентироваться на теоретическое предсказание  $x_k^{opt} + u_k$ . В общем случае для того, чтобы найти точное значение коэффициента Калмана  $K$ , необходимо минимизировать ошибку:

$$e_{k+1} = x_{k+1} - x_{k+1}^{opt}. \quad (6)$$

Используя уравнение (4), получим

$$e_{k+1} = (1 - K)(e_k + \xi_k) - K\eta_{k+1}. \quad (7)$$

Для рассматриваемой системы критерий минимизации является средним значением от квадрата ошибки:

$$E(e_{k+1}^2) \rightarrow \min. \quad (8)$$

Используя уравнение (7) и критерий минимизации (8), получим

$$E(e_{k+1}^2) = (1 - K)^2 (Ee_k^2 + \sigma_\xi^2) + K^2 \sigma_\eta^2. \quad (9)$$

Выражение (9) принимает минимальное значение, когда

$$K_{k+1} = \frac{Ee_k^2 + \sigma_\xi^2}{Ee_k^2 + \sigma_\xi^2 + \sigma_\eta^2}. \quad (10)$$

Подставляя в выражение для среднеквадратичной ошибки  $E(e_{k+1}^2)$ , минимизирующие ее значение коэффициента Калмана  $K_{k+1}$ , получим

$$E(e_{k+1}^2) = \frac{\sigma_\eta^2 (Ee_k^2 + \sigma_\xi^2)}{Ee_k^2 + \sigma_\xi^2 + \sigma_\eta^2}. \quad (11)$$

Формула (11) является итерационной для нахождения коэффициента Калмана.

Формулы (5) и (11) позволяют найти качественно приближенное значение текущей координаты, путем подсчета коэффициента Калмана. Это в свою очередь приводит к повышению качества перемещения и позиционирования.

На рис. 2 представлены экспериментальные данные, полученные с сенсора GPS и отфильтрованные адаптивным фильтром Калмана.

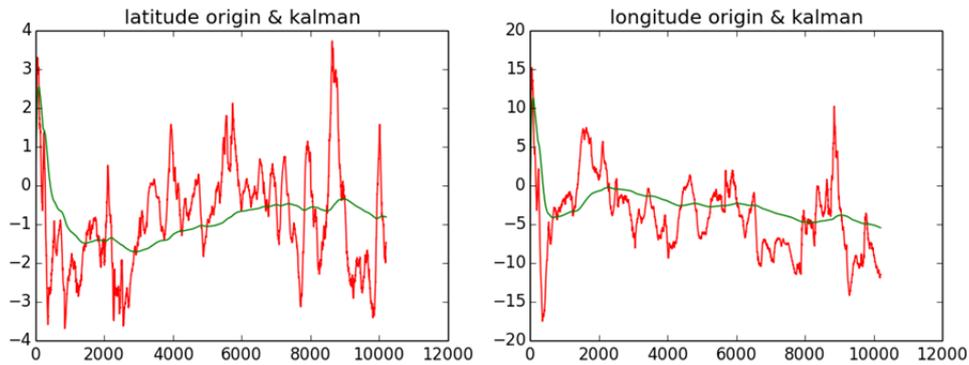


Рис. 2. Фильтрация GPS данных адаптивным фильтром Калмана

Как видно из рис. 2, фильтру необходимо время, когда коэффициент Калмана стабилизируется.

Рассматриваемая реализация фильтра Калмана апробирована на мобильной робототехнической платформе. Мобильная платформа представляет собой несущую конструкцию с двигателями постоянного тока, управляемыми через драйверы «L298N», с установленными одноплатным компьютером «Raspberry Pi» и GPS сенсором «u-blox». На платформе реализованы каналы wi-fi и глобального доступа. На рис. 3 изображен общий вид.

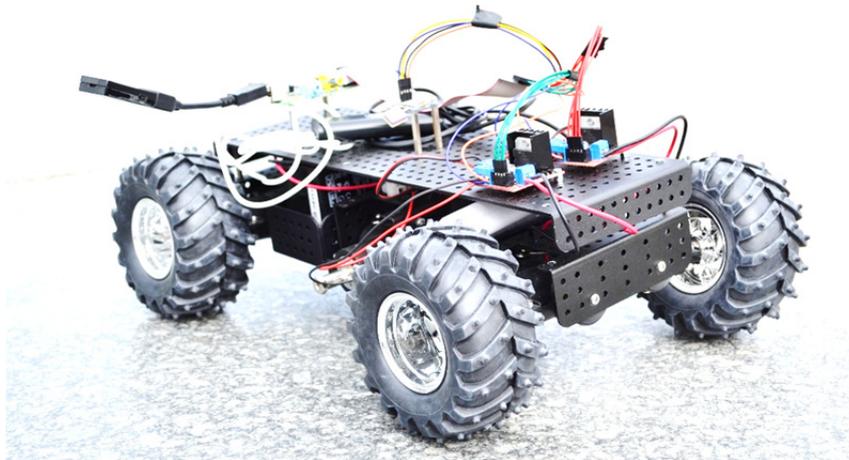


Рис. 3. Общий вид мобильной платформы

Мобильная платформа описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \cos(\phi)u \\ \frac{dy}{dt} = \sin(\phi)u \\ \frac{du}{dt} = \frac{1}{m}(F_1 + F_2 - M_c) \\ \frac{d\phi}{dt} = \frac{b}{2}J(F_1 - F_2 - k\omega) \end{cases},$$

где  $\varphi$  – угол, определяющий текущее положение, относительно начала координат;  $F_1, F_2$  – усилия приводов;  $M_c$  – момент сопротивления;  $u$  – скорость движения;  $m$  – масса платформы;  $b$  – геометрический размер платформы.

Учитывая данные уравнения, спроектирована имитационная модель мобильной платформы, изображенной на рис. 4.

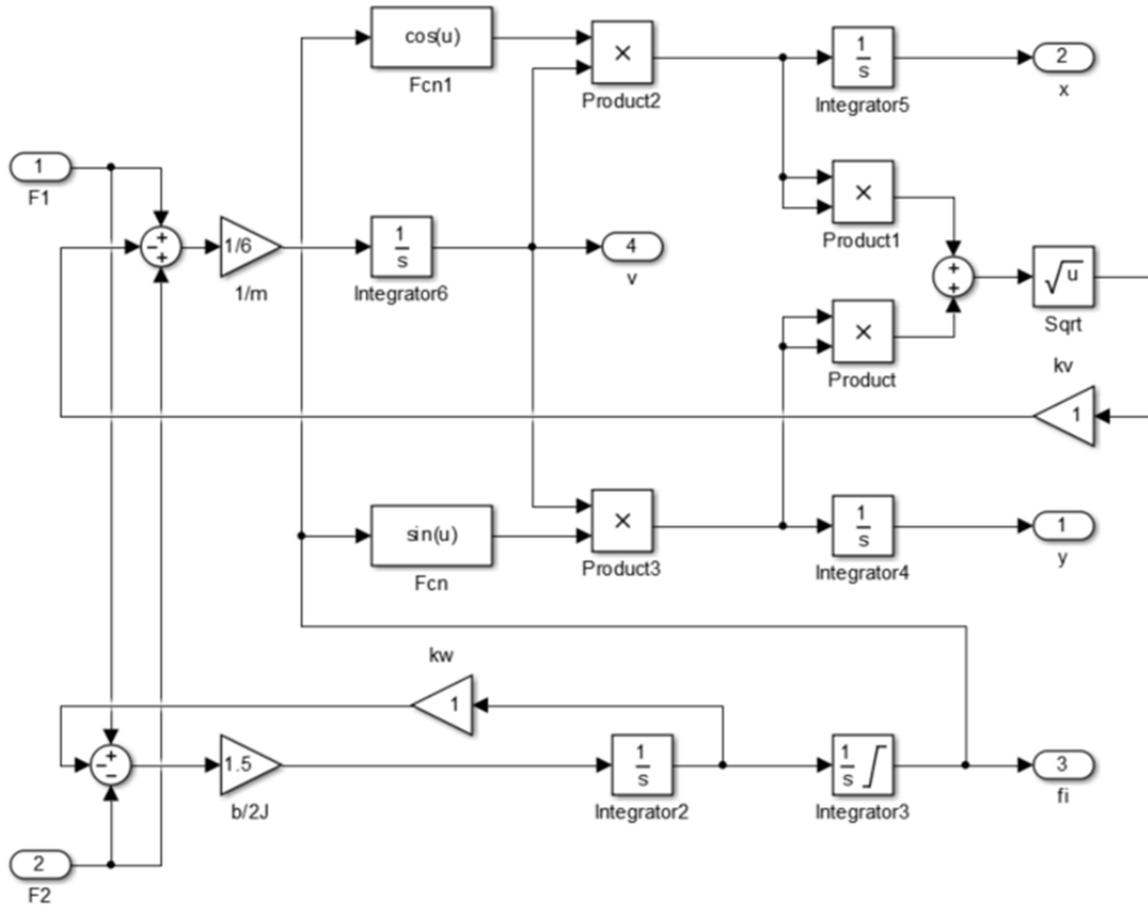


Рис. 4. Имитационная модель мобильной платформы.

График траектории движения в заданную точку (3;3) изображен на рис. 5.

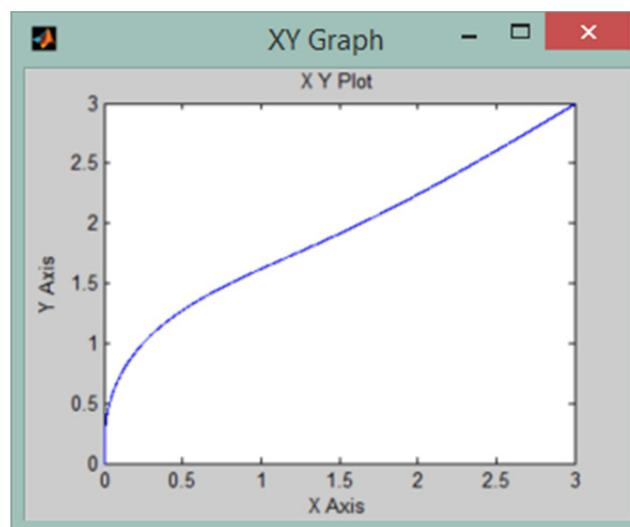


Рис. 5. Имитационная траектория движения

Учитывая данные модели и рассматриваемой адаптации фильтра Калмана, разработано программное обеспечение, реализующее движение мобильной платформы в заданную точку по геодезическим координатам.

На рис. 6 изображена экспериментальная траектория движения мобильной платформы.



Рис. 6. Экспериментальная траектория движения мобильной платформы

Экспериментальные данные показали, что при движении по геодезическим координатам погрешность позиционирования с учетом Калмановской фильтрации не превышает 0,2–0,5 м, когда заявленная точность спутникового сигнала составляет 1–2 м.

Разработанная адаптация фильтра Калмана существенно повышает качество определения положения мобильной платформы в движении.

### Список литературы

1. Згуровский, М. З. Аналитические методы калмановской фильтрации для систем с априорной неопределенностью / М. З. Згуровский, В. Н. Подладчиков. – Киев : Наукова думка, 1995. – 298 с.
2. Оценивание состояния динамической системы в условиях неопределенности / В. И. Ширяев, В. И. Долбенков, Е. Д. Ильин, Е. О. Подвилова // Экстремальная робототехника : сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – СПб., 2011. – С. 234–243.
3. Кац, И. Я. Минимаксная многошаговая фильтрация в статистически неопределенных ситуациях / И. Я. Кац, А. Б. Куржанский // Автоматика и телематика. – 1978. – № 11. – С. 79–87.
4. Климченко, В. В. Планирование измерений параметров контролируемых технических объектов / В. В. Климченко // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2011. – Т. 1. – С. 46–48.
5. Еременко, В. В. Динамика информационных потоков в системе управления сложным техническим комплексом / В. В. Еременко // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2012. – Т. 1. – С. 293–294.
6. Петрунин, В. В. Система управления роботом / В. В. Петрунин, Ю. В. Анохина // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2013. – Т. 2. – С. 219–220.

УДК 51-74

Малинин, Д. Д.

Повышение точности позиционирования мобильной платформы путем коррекции GPS сигнала фильтром Калмана / Д. Д. Малинин, А. Е. Шаралапов // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 44–49.

**Шаралапов Александр Евгеньевич**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра автоматики и телемеханики,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: robot@pnzgu.ru

**Малинин Дмитрий Денисович**

магистрант,  
кафедра автоматики и телемеханики,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: robot@pnzgu.ru

**Аннотация.** Рассмотрено повышение точности позиционирования мобильной платформы путем коррекции GPS сигнала фильтром Калмана. Мобильная платформа представляет собой транспортное средство с установленным на нем GPS-сенсором, который принимает геодезические координаты. Координаты, полученные с GPS-сенсора, имеют погрешность, которая состоит из ошибки навигационного и «многолучевого» распространения. В движении на платформу оказывают влияние внешние возмущения, что добавляет ошибку в позиционирование мобильной платформы. Исходя из вышеизложенного, для корректной навигации мобильной платформы в недетерминированной среде необходимо решить задачу фильтрации для координат, полученных с GPS-сенсора, который установлен на объекте, находящемся в движении. Задача фильтрации решается путем адаптации фильтра Калмана под заданные условия. При адаптации учтены возмущения, действующие на платформу, и ошибки распространения навигационного сигнала. Проведено экспериментальное исследование, доказывающее эффективность адаптивного фильтра.

**Ключевые слова:** мобильная платформа, фильтр Калмана, GPS.

**Sharalapov Alexander Evgenevich**

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of automation and remote control,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Malinin Dmitry Denisovich**

master degree student,  
sub-department of automation and remote control,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Abstract.** The article considers the increase in accuracy positioning mobile platform by correcting GPS signal Kalman filter. The mobile platform is a vehicle mounted with a GPS sensor that receives geodetic coordinates. The coordinates obtained from the GPS sensor has an error which is composed of a navigation error and «multipath» distribution. In a move to the platform affect the external disturbances, which adds error in positioning the mobile platform. Proceeding from the above, for the correct navigation of mobile platforms in non-deterministic environment, you must solve the problem of filtering for the coordinates received from the GPS sensor, which is mounted on an object in motion. Filtering problem is solved by adapting the Kalman filter under specified conditions. In adapting considered perturbations acting on the platform, and the error propagation of the navigation signal. An experimental study showing the effectiveness of the adaptive filter.

**Key words:** mobile platform, Kalman filter, GPS.

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

УДК 623-4

## АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОЙ ВИБРОЗАЩИТОЙ РЭУ

А. В. Лысенко, Г. В. Таньков, Т. А. Шаркунова

### *Введение*

Существующие активные амортизационные системы предназначены для снижения амплитуды вибраций на конструкции радиоэлектронных устройств (РЭУ) не только на резонансных частотах, но и на всем требуемом диапазоне частот. Принцип их работы основан на введении дополнительных компенсирующих сигналов внешнего вибрационного воздействия. Сигналы подаются в противофазе и равными по амплитуде, что и обеспечивает положительный эффект вибростабилизации РЭУ.

Такой подход влечет за собой усложнение конструкции активных амортизаторов за счет введения дополнительных средств измерения вибраций, а также увеличение их стоимости, поэтому применение таких средств защиты обосновано только в исключительных случаях ответственной РЭУ. К тому же во многих случаях вибрационная защита достаточна на резонансных частотах, так как остальной диапазон на РЭУ влияет не сильно [1, 2].

Поэтому далее рассматривается новый вариант создания конструктивно простых средств активной виброзащиты РЭУ, реализующих высокоэффективный способ снижения вибрационных нагрузок на резонансных частотах [3, 4].

Рассматриваемый способ состоит во внесении на резонансных частотах фазового рассогласования в точках крепления объекта виброзащиты, вследствие чего амплитуда вынужденных колебаний РЭУ резко понижается, а затраты энергии существенно меньше, чем в системах с полной компенсацией.

### *1. Структура алгоритма формирования сигналов обратной связи*

Для доведения рассматриваемого способа снижения вибрационных нагрузок до практической реализации нами разработана структура алгоритма формирования сигналов обратной связи для информационно-измерительной системы (ИИС) управления активной виброзащитой РЭУ[5], которая представлена на рис. 1.

Началом работы данного алгоритма служит включение питания ИИС управления активной виброзащитой РЭУ.

Вначале происходит загрузка параметров объекта виброзащиты в память микроконтроллера (модуль Юнга, коэффициент Пуассона, плотность материала и геометрия объекта виброзащиты, расстояние между точками крепления виброамортизаторов).

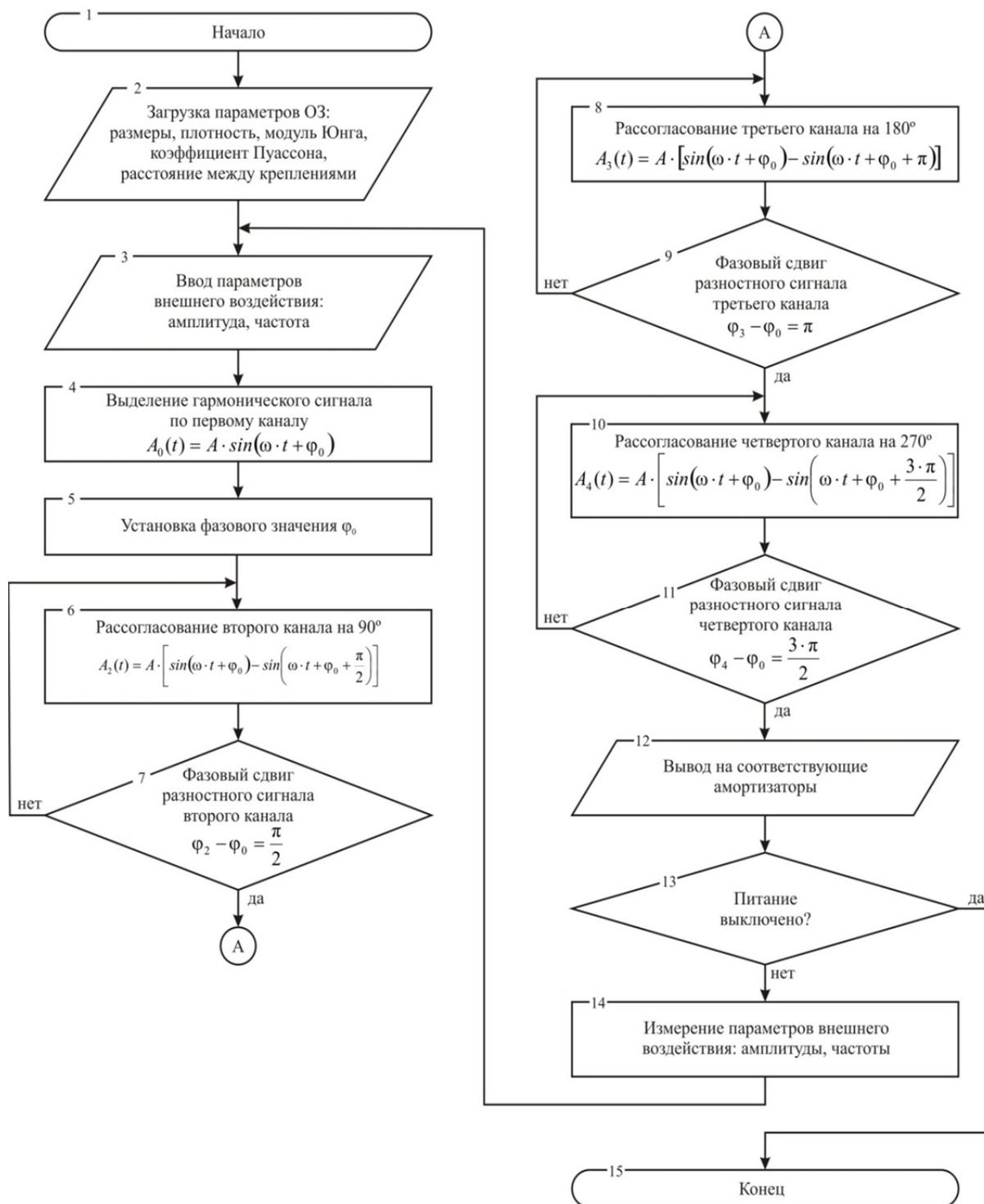


Рис. 1. Алгоритм формирования сигналов обратной связи для информационно-измерительной системы активной виброзащиты РЭУ

Далее в режиме реального времени происходит отслеживание и постоянный ввод изменяющихся параметров внешнего воздействия – амплитуды и частоты. Отслеживание ведется только по одному измерительному каналу.

На основе полученных данных следует сгенерировать дополнительный сигнал, позволяющий при его сложении с основным сигналом внешнего воздействия осуществить смещение фазы в точках крепления объекта виброзащиты на заданный угол.

Поскольку при вхождении конструкции РЭУ в резонанс все ее точки движутся по гармоническому закону, то амплитуду дополнительного сигнала генерировать следует по формуле

$$A_D = A_0(t) [\sin(\omega t + \phi_0) - \sin(\omega t + \phi_0 + \Delta\phi)],$$

где  $A_D$  – амплитуда дополнительного сигнала;  $A_0(t)$  – амплитуда основного сигнала;  $\omega$  – частота основного сигнала;  $\phi_0$  – начальная фаза основного сигнала;  $\Delta\phi$  – требуемый фазовый сдвиг.

При выполнении всех четырех условий все рассогласованные каналы выводятся на соответствующие амортизаторы. Условием выхода из алгоритма служит наличие питания на микросхеме микроконтроллера.

## 2. Анализ быстродействия микроконтроллера ATmega128

Осуществить реализацию разработанного алгоритма предлагается на базе современного широко распространенного микроконтроллера ATmega128, обладающего низким энергопотреблением, ценой и высоким быстродействием. Для этого проведем анализ его вычислительной мощности применительно к нашей задаче. Для этого проведем следующие теоретические расчеты.

При максимальном быстродействии микроконтроллера на одно измерение необходимо времени

$$t_{\max} = n t_{\text{раб. max}}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество измерений на одном периоде вибраций;  $t_{\text{раб. max}}$  – максимальное время быстродействия микроконтроллера, затрачиваемое на оцифровку и обработку информации.

Для исследования необходимо и достаточно провести восемь измерений на периоде (рис. 2). Зная диапазон значений рабочего времени быстродействия выбранного микроконтроллера (от 10 мкс до 260 мкс) [92], зададим  $t_{\text{раб. max}} = 10$  мкс. Подставив значения  $n$  и  $t_{\text{раб. max}}$  в формулу (1), получим  $t_{\max} = 8 \cdot 10 = 80$ .

Таким образом, максимальное быстродействие микроконтроллера составляет 80 мкс.

При минимальном быстродействии микроконтроллера на одно измерение необходимо времени:

$$t_{\min} = n \cdot t_{\text{раб. min}}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{раб. min}}$  – минимальное время быстродействия микроконтроллера, затрачиваемое на оцифровку и обработку информации.

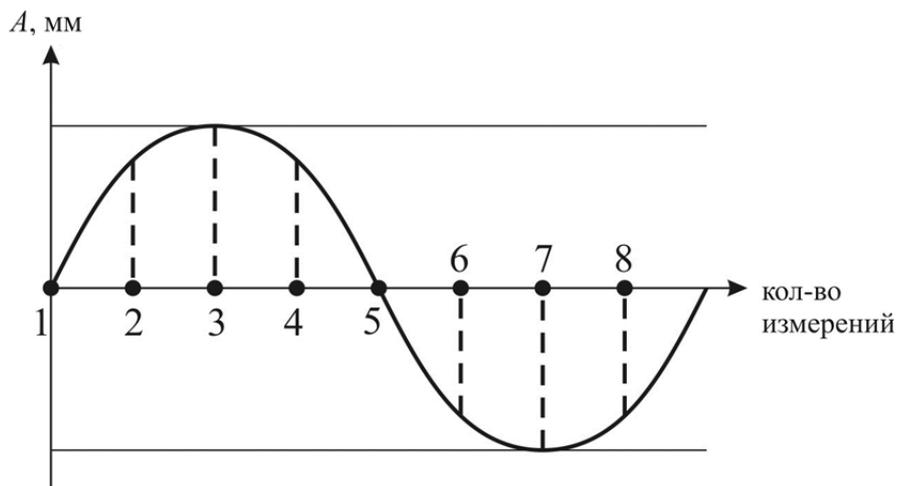


Рис. 2. Количество измерений на одном периоде вибрации

Из диапазона значений рабочего времени быстродействия выбранного микроконтроллера (от 10 мкс до 260 мкс) [31] зададим  $t_{\text{раб. min}} = 260$  мкс. Подставив значения  $n$  и  $t_{\text{раб. min}}$  в формулу (2), получим  $t_{\min} = 8 \cdot 260 = 2008$ .

Таким образом, минимальное быстродействие микроконтроллера составляет 2,08 мс.

Диапазон измерений широк, поэтому актуальным является вопрос затрачиваемого времени на обработку информации по алгоритму, для чего необходимо провести практические исследования, в ходе которых выясним, сколько времени понадобится микроконтроллеру для обработки информации по алгоритму, представленному на рис. 1.

### 3. Схема проведения экспериментальных исследований разработанного алгоритма 128

В качестве критических значений граничных частот, на которых проводились исследования, согласно ГОСТ 17516.1-90 (Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам) были выбраны частоты 10 Гц и 1 кГц. Схема исследования показана на рис. 3.

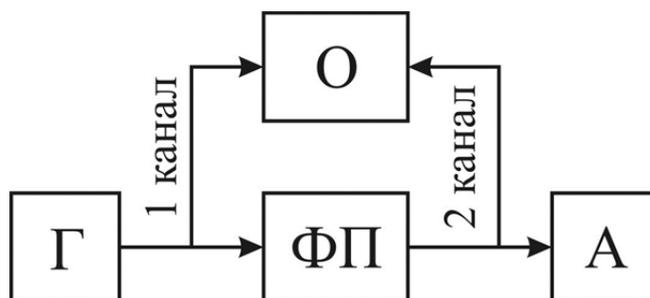


Рис. 3. Схема экспериментальных исследований ограничений разработанного алгоритма

Генератор (Г) предназначен для генерации синусоидального сигнала с заданными параметрами, который поступит на функциональный преобразователь (ФП), в котором находится исследуемый микроконтроллер ATmega128, в качестве прошивки использовано программное обеспечение, разработанное по предложенному алгоритму. Нагрузка – активные амортизаторы (А), показания снимались с помощью осциллографа (О).

Для исследования было использовано следующее измерительное оборудование: генератор GW INSTEK GFS-2104 (внесен в Государственный реестр средств измерений под номером № 29967-05), цифровой запоминающий осциллограф марки GW INSTEK GDS-71022 (внесен в Государственный реестр средств измерений под номером № 38084-08).

### 4. Экспериментальные исследования быстродействия предложенного алгоритма в связке с микроконтроллером ATmega128

Первое испытание проходило на частоте 10 Гц, теоретическое значение времени определено по формуле

$$T_f = \frac{1}{f} \phi, \quad (3)$$

где  $f$  – частота внешнего вибровоздействия;  $\phi$  – угол смещения фазы.

Примем  $f$ , равной 10 Гц, смещение фазы – равным  $90^\circ$  (т.е. смещение фазы произойдет на  $1/4$  периода), то  $\phi = \frac{1}{4}$ . Подставив значения  $f$  и  $\phi$  в формулу (3), получим

$$T_{10} = \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{4} = 0,025 \text{ с} = 25 \text{ мс}.$$

В ходе испытаний на частоте 10 Гц выявлено, что реальное время при смещении фазы на  $90^\circ$  составляет  $T_{103} = 25,025$  мс (рис. 4).

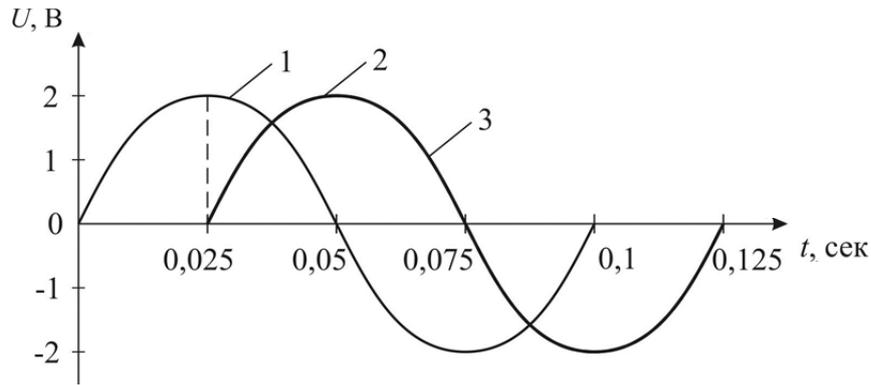


Рис. 4. Амплитудно-временные характеристики вибрации при частоте 10 Гц:  
1 – генерируемый сигнал; 2 – рассчитанный сигнал, смещенный на 90°;  
3 – экспериментальный сигнал, смещенный на 90°

Абсолютная погрешность рассчитывается по формуле

$$\Delta T_f = T_{f\text{Э}} - T_f.$$

Подставив получившиеся значения  $T_{f\text{Э}}$  и  $T_f$  на 10 Гц, получим

$$\Delta T_{10} = 25,025 - 25 = 0,025,$$

т.е. абсолютная погрешность на частоте 10 Гц составляет 25 мкс.

Найдем относительную погрешность по формуле

$$\delta_f = \frac{\Delta T_f}{T_{f\text{Э}}} \cdot 100\%.$$

Подставив получившиеся значения  $\Delta T_{10}$  и  $T_{10\text{Э}}$ , получим

$$\delta_{10} = \frac{0,025}{25,025} \cdot 100\% = 0,1\%,$$

т.е. относительная погрешность на частоте 10 Гц составила 0,1 %.

Второе испытание проходило на частоте 1000 Гц, поэтому примем  $f = 1000$  Гц. Подставив значения  $f$  и  $\phi$  в формулу (3), получим

$$T_{1000} = \frac{1}{1000} \cdot \frac{1}{4} = 0,00025 \text{ с} = 0,25 \text{ мс}.$$

В ходе испытания на частоте 1000 Гц было выявлено, что реальное время при смещении фазы на 90° составляет  $T_{1000\text{Э}} = 0,275$  мс (рис. 5).

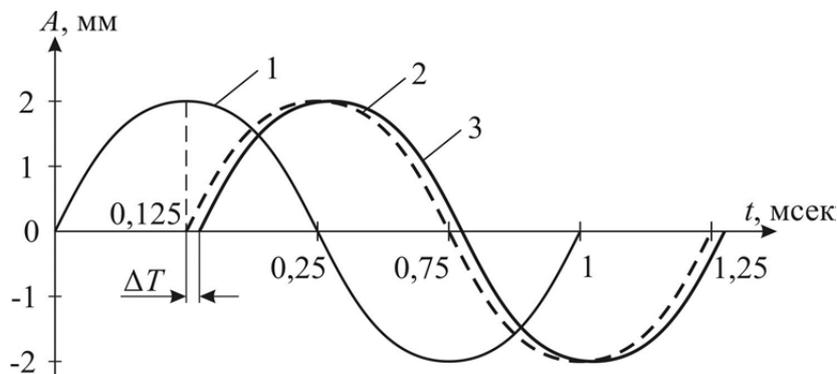


Рис. 5. Амплитудно-временные характеристики вибрации при частоте 1000 Гц:  
1 – генерируемый сигнал; 2 – рассчитанный сигнал, смещенный на 90°;  
3 – экспериментальный сигнал, смещенный на 90°

Для получения абсолютной погрешности на частоте 1000 Гц подставим получившиеся значения  $T_{1000Э}$  и  $T_{1000}$ , получим

$$\Delta T_{1000} = 0,275 - 0,25 = 0,025,$$

т.е. абсолютная погрешность на частоте 1000 Гц составляет 25 мкс.

Для получения относительной погрешности на частоте 1000 Гц подставим получившиеся значения  $\Delta T_{1000}$  из (2.18) и  $T_{500Э}$ , получим

$$\delta_{1000} = \frac{0,025}{0,275} \cdot 100\% = 9,09\% . \quad (2.10)$$

Таким образом, относительная погрешность на частоте 1000 Гц составила 9,09 %.

Из полученных результатов видно, что на любых частотах абсолютная погрешность остается неизменной, что говорит о ее аддитивном характере. Поскольку абсолютная погрешность остается неизменной, а относительная погрешность с ростом частоты увеличивается, то можно сказать, что обе погрешности – систематические. Такой результат является хорошим, поскольку диапазон частот, выбранный согласно ГОСТ 17516.1–90, соответствует 10 Гц и 1 кГц в зависимости от категории исполнения РЭУ.

### **Выводы**

Таким образом, разработан алгоритм формирования сигналов обратной связи для ИИС управления активной виброзащитой РЭУ, отличающийся преобразованием измерительной информации за счет применения модели фазового рассогласования величины внешнего воздействия РЭУ и позволяющий сформировать сигналы обратной связи для каждого из каналов и реализовать принцип фазового перераспределения.

Критерием ограничения применения данного алгоритма является значение относительной погрешности. Реализация данного алгоритма на микроконтроллере ATmega128 позволяет использовать его в предлагаемой ИИС управления активной виброзащитой на частотах внешнего воздействия до 1 кГц.

### **Список литературы**

1. Остроменский, П. И. Вибрационные испытания радиоаппаратуры и приборов / П. И. Остроменский. – Новосибирск : Изд-во Новосиб. ун-та, 1992. – 173 с.
2. Лысенко, А. В. Конструкция активного виброамортизатора с электромагнитной компенсацией / А. В. Лысенко, Д. В. Ольхов, А. В. Затылкин // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2013. – Т. 1. – С. 454–456.
3. Таньков, Г. В. Исследование моделей стержневых конструкций радиоэлектронных средств / Г. В. Таньков, В. А. Трусов, А. В. Затылкин // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2005. – Т. 1. – С. 156–158.
4. Информационная технология многофакторного обеспечения надежности сложных электронных систем / Н. К. Юрков, А. В. Затылкин, С. Н. Полесский, И. А. Иванов, А. В. Лысенко // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 75–79.
5. Затылкин, А. В. Алгоритмическое и программное обеспечение расчета параметров статически неопределимых систем амортизации РЭС / А. В. Затылкин, Г. В. Таньков, И. И. Кочегаров // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 33–40.

УДК 623-4

*Лысенко, А. В.*

**Алгоритм формирования сигналов обратной связи для информационно-измерительной системы управления активной виброзащитой РЭУ / А. В. Лысенко, Г. В. Таньков, Т. А. Шаркунова // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 50–56.**

**Лысенко Алексей Владимирович**

аспирант,  
кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
8-(412)-36-82-12  
E-mail: lysenko7891@rambler.ru

**Таньков Георгий Васильевич**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
8-(412)-368-212  
E-mail: oldalez@yandex.ru

**Шаркунова Татьяна Алексеевна**

старший преподаватель,  
кафедра высшей и прикладной математики,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
8-(412)-368-212,  
E-mail: tatius3001@yandex.ru

**Аннотация.** Рассмотрены способы снижения вибрационных нагрузок на радиоэлектронные устройства (РЭУ) с использованием активных систем виброзащиты. Выбран наиболее актуальный из них, на основе которого разработана структура алгоритма формирования сигналов обратной связи для информационно-измерительной системы (ИИС) управления активной виброзащитой РЭУ. Предложено осуществить реализацию алгоритма на базе микроконтроллера ATmega128, для чего проведен теоретический анализ его вычислительной мощности. Проведены экспериментальные исследования быстродействия предложенного алгоритма в связке с микроконтроллером ATmega128, подтвердившие возможность их применения для защиты РЭУ от внешних вибрационных воздействий на частотах до 10 кГц.

**Ключевые слова:** алгоритм, вибрация, управление, активная система, радиоэлектронные устройства.

**Lysenko Aleksey Vladimirovich**

postgraduate student,  
sub-department of radio equipment  
design and production,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Tankov Georgiy Vasilievich**

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of radio equipment  
design and production,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Sharkunova Tat'yana Alekseevna**

senior lecturer,  
sub-department of high and applied mathematics,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Abstract.** Methods of reducing vibration loads on the electronic unit (REU) with the use of active vibration protection systems. Selected the most relevant of them, on the basis of which the structure of the algorithm for generating feedback signals for information-measuring system (IMS) control active vibrogasheniya REU. It is proposed to implement the algorithm on the basis of the ATmega128 microcontroller, for which a theoretical analysis of its computational power. Experimental studies of the performance of the proposed algorithm in conjunction with a microcontroller ATmega128, which confirmed the possibility of their application for the protection of the RG from external vibration exposure at frequencies up to 10 kHz.

**Key words:** algorithm, vibration, control, active system, the protection electronic device.

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ БЕСКОНТАКТНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ МАШИНИСТА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

А. Я. Калиниченко, А. И. Фесечко

### *Введение*

Создание электронных контроллеров машиниста электроподвижного состава, обладающих высокой производственной и эксплуатационной технологичностью, позволяют наравне со снижением расхода цветных металлов повысить качественный уровень изделия, их степень унификации, что в конечном счете обеспечит надежность и безопасность их функционирования.

### *Синтез системы на основе цифрового подхода*

Основной тенденцией в совершенствовании электрического подвижного состава (ЭПС) является использование полупроводниковой техники и микроэлектроники в пускорегулирующей аппаратуре и в схемах управления. Такая ориентация на полупроводниковую технику оправдывается необходимостью снижения материалоемкости аппаратуры, трудоемкости при ее изготовлении и обслуживании, а также улучшением функциональных и логических возможностей систем управления [1].

Несмотря на применение в силовых схемах ЭПС и в системах управления полупроводниковой техники, основной орган управления – контроллер машиниста – за весь период развития схемотехники не претерпел качественных изменений. Этот аппарат контакторно-кулачкового типа отличается большими массо-габаритными показателями и большой трудоемкостью при изготовлении и обслуживании. Для получения  $m$  управляющих сигналов при таких принципах построения контроллеров машиниста (КМ) требуется применение  $m$  источников информации (кулачковых элементов).

Применение цифровых принципов для построения контроллеров машиниста транспортных средств позволяет существенно упростить конструкцию этого аппарата – выполнить ее блочной, разместив узлы в шкафах управления, и сократить монтажные работы [2, 3].

На подвижном составе находят применение электронные контроллеры, которые состоят из бесконтактного датчика позиций и электронного блока, которые отличаются конструкцией датчика. Электронный блок (как правило, с микропроцессором) обрабатывает команды датчика и коммутирует электронными ключами соответствующие цепи управления.

Рассмотрим структуру электронного контроллера машиниста, представленную на рис. 1. Контроллер содержит датчик режимов работы ЗРД, который представляет собой бесконтактные датчики  $D_n$  (фото или магнитные) в сочетании с металлической пластиной, находящейся на оси рукоятки контроллера машиниста (см. рис. 1). С выходов ЗРД, число которых равно количеству датчиков ( $n$ ), сигналы и их комбинации поступают на логический блок (ЛБ), выполненный в виде логических элементов НЕ и дешифратора (ДШ), преобразующего двоичные коды в позиционный код на одном из выходов ДШ. Через распределительный блок (РБ) сигналы по выходам  $m \neq m'$  поступают на исполнительный блок (ИБ). При использовании двоичной системы счисления число датчиков должно удовлетворять условию  $m \leq 2^n - 1$ .

Так, для вагонов метро, число режимов работы которого равно семи  $m = 7$  («Ход 1», «Ход 2», «Ход 3», «Выбег», «Тормоз 1», «Тормоз 2», «Тормоз 3»), достаточно применить три датчика, для другого ЭПС, имеющего до 16 позиций, – четыре датчика, до 32 позиций – пять датчиков и т.д. Для получения семи позиций необходимо в ЛБ преобразовать сигналы, поступающие с датчиков, в соответствующую команду (табл. 1).

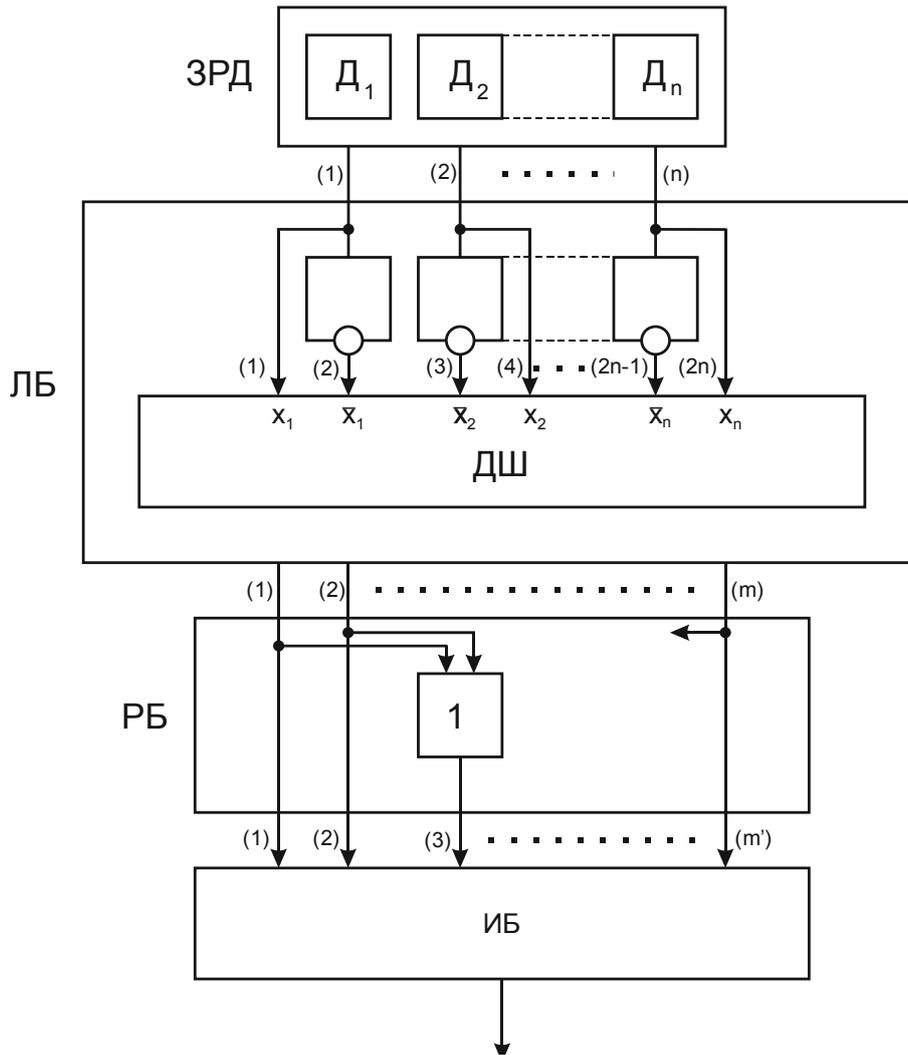


Рис. 1. Структура электронного контроллера машиниста транспортного средства

Электронный контроллер машиниста транспортного средства предназначен для использования в качестве устройства, задающего по команде машиниста режимы работы силового оборудования, в частности для обеспечения управления тягой и торможением электровозов, электропоездов и других тяговых агрегатов.

Таблица 1

Номер датчика	Режим работы						
	$X_3$	$X_2$	$X_1$	выбег	$T_1$	$T_2$	$T_3$
$D_1$					+	+	+
$D_2$	+				+		+
$D_3$	+	+				+	+

Режим «Выбег» соответствует отсутствию сигналов на выходах датчиков. Задание одной из команд с помощью ЭКМ можно представить как

$$F_{(i)} = U_{n-1}^m(f_i), \tag{1}$$

где  $i = 1, 2, 3, \dots, (2^n - 1)$  – номер заданной позиции регулирования;  $f_i$  – конъюнкция переключательной функции, соответствующая  $i$ -й позиции.

Каждая конъюнкция переключательной функции представляет собой подмножество множества  $F$ , т.е.  $f_{(i)} \in F$ . Нормальная дизъюнктивная форма функции, реализуемой в ЛБ, равна

$$F(x_1, x_2, x_3) = x_1 \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_1 x_2 x_3 \bar{x}_1 x_2 x_3 \bar{x}_1 x_2 \bar{x}_3 x_1 x_2 x_3 x_1 x_2 x_3, \quad (2)$$

где  $x, \bar{x}$  – соответственно прямые и инвертированные выходы датчиков.

Учитывая, что на каждой позиции ЭКМ реализуется конstituента единицы, выражение (2) можно представить как

$$V_{i=0}^{\phi} (\Delta_{j=1}^{\varepsilon} F_{ij}), \quad (3)$$

где  $\phi = 2^n - 1$  – число дизъюнкций;  $\varepsilon = n$  – ранг конъюнкции.

После синтеза функции (2) ДШ ЛБ реализуется в виде простых импликант:

$$F(x_1, x_2, x_3) = x_1 x_2 \bar{x}_3 \bar{x}_1 x_3 x_3 = x_1 x_2 x_3 \bar{x}_3. \quad (4)$$

Однако при изложенных выше принципах построения ЭКМ для ЭПС с большим числом позиций регулирования тягового и тормозного усилия, например для электровозов и тепловозов, применяются

$$\log_2 \geq [(m_X + m_T) - 1] \quad (5)$$

датчики (источники информации), где  $m_X, m_T$  – соответственно число ходовых и тормозных позиций.

Так, для электровозов, имеющих более 32 позиций регулирования, необходимо применить шесть датчиков. Учитывая, что для повышения надежности такого КМ требуется резервирование основных узлов, в том числе и датчиков, такой принцип построения КМ приводит к использованию завышенного числа элементов. Здесь необходимо отметить, что масса и потребляемая мощность датчиками, например типа КВД, на два порядка выше показателей оставшейся электронной части КМ.

Исследования показывают, что возможно применение в конструкции ЭКМ транспортного средства всего лишь двух датчиков независимо от числа позиций регулирования [4]. Анализ порядка-временной зависимости задаваемых позиций от состояний датчиков при двоичном кодировании показывает, что при кодировании команд, задаваемых ЗРД, в режиме тормоза и пуска происходит повторение кодовых комбинаций, соответствующих младшим разрядам (двум). Это повторение происходит при различных кодовых комбинациях старших разрядов; для городского электротранспорта – одного разряда.

Изменив порядок выполнения одинаковых кодовых комбинаций в режиме пуска и торможения, можно однозначно определить конкретный режим работы. Так, если после режима «Выбег» первоначально в работу вступает датчик  $D_1$ , будут собираться пусковые позиции и при вступлении в работу датчика  $D_2$  – тормозные позиции (табл. 2).

Таблица 2

Номер датчика	Режим работы						
	$X_3$	$X_2$	$X_1$	выбег	$T_1$	$T_2$	$T_3$
$D_1$	–		–			–	–
$D_2$	–	–			–		–
Признак «Ход»	–	–	–		+	+	+
Признак «Тормоз»				–	–	–	–

При таком построении ЭКМ требуется выделение признака режима. Как видно из табл. 2, отмена ходовых режимов происходит в положении «Выбег», в котором задается признак режима «Тормоз», что позволяет при нахождении рукоятки ЭКМ в положении «Выбег» при ложной подаче кодовых комбинаций на ДШ в случае попадания постороннего питания задать одну из тормозных команд с целью повышения безопасности движения.

При установке рукоятки ЭКМ в положение «Выбег» с выходов элементов  $HE_1, HE_2$  сигналы через элемент  $I_1$  поступают на один отдельный вход триггера  $T_1$ , устанавливая его в такое состояние, при котором появляется сигнал на его отдельном выходе, задавая признак «Тормоз».

Одновременно сигнал с выхода  $I_1$  поступает на один отдельный вход триггера  $T_2$ , что приводит к подаче сигнала с выхода этого триггера на один вход  $I_2$ . При переводе рукоятки ЭКМ в положение  $X_1$  на второй вход  $I_2$  поступит сигнал с  $D_1$ , что приведет к изменению состояния триггера  $T_1$  и тем самым к изменению признака «Тормоз» на «Ход». При последующих изменениях положений рукоятки ЭКМ в пределах пусковых позиций триггер  $T_1$  не изменит свое состояние, обеспечивая выполнение режимов работы в соответствии с данными табл. 2, что осуществляется в ДШ ЛБ, на который подаются признаки режимов работы. При необходимости изменить режим работы транспортного средства рукоятка ЭКМ вновь пройдет положение «Выбег», что приведет к изменению режима «Ход» на «Тормоз». При переводе рукоятки в положение  $T_1$  с выхода датчика  $D_1$  сигнал совпадает в элементе  $I_3$  с сигналом, поступающим с выхода триггера  $T_1$ , что приведет к изменению состояния второго триггера  $T_2$  к запрещению прохождения сигнала через элемент  $I_2$  на другой вход триггера  $T_1$ , т.е. к запрещению выполнения ходовых режимов при задании одной из тормозных команд.

Управление транспортным средством с большим количеством позиций с помощью ЭКМ, содержащего два датчика, осуществляется многократным повторением одних и тех же комбинаций с различными признаками режимов работы и в пределах одного режима работы – с различными зонами работы (табл. 3, составленная для случая  $m_x = 15, m = 15$ ).

Признак зоны изменяется при каждом очередном граничном положении рукоятки ЭКМ в пределах одной зоны (код 1–1), что достигается подключением к выходам датчиков  $D_1$  к  $D_2$  элемента  $I_4$ , выход которого подключен к блоку реверсирования БР. Выходы БР подключены к входу сложения и вычитания реверсивного счетчика РС для обеспечения набора или возврата позиций в пределах одного режима работы транспортного средства при изменении направления движения рукоятки ЭКМ.

Таблица 3

№	X15	X14	X13	...	X4	X3	X2	X1	0	T1	T2	T3	...	T12	T13	T14	T15
$D_1$	–		–		–	–		–			–	–				–	–
$D_2$	–	–				–	–			–		–			–		–
Признаки зон																	
$I_3$						–	–	–		–	–	–					
$II_3$					–												
$IV_3$	–	–	–	...	...	...	...	...	...	...	...	...		–	–	–	–
Признак режима																	
Ход	–	–	–	–	–	–	–	–									
Тормоз									–	–	–	–	–	–	–	–	–

При изготовлении электронных контроллеров машиниста для вагонов метро в ЗРД и ЛБ используется всего лишь пять микросхем 155-й серии.

Рассмотренные выше принципы построения ЭКМ транспортных средств позволяют сократить массо-габаритные показатели контроллеров, повысить технологичность их изготовления и обслуживания, снизить расходы цветных металлов, повысить качественный уровень изделия, степень унификации, надежность и функциональные возможности контроллеров.

### Список литературы

1. Ефремов, И. С. Функциональная надежность электронных контроллеров машиниста ЭПС / И. С. Ефремов, А. Я. Калиниченко // Электротехническая промышленность. Серия «Тяговое и подъемно-транспортное электрооборудование». – 1984. – № 2. – С. 9–11.
2. Чертыковцева, Н. В. Программно-аппаратный комплекс оптимизации режимов работы системы охлаждения дизеля тепловоза / Н. В. Чертыковцева, В. П. Перевертов, А. В. Иванов // Труды Международ. симп. Надежность и качество. – 2014. – Т. 2. – С. 409–411.
3. Китаев, В. Н. О необходимости совершенствования электромеханических приборов на ранних стадиях их разработок / В. Н. Китаев, В. С. Карих, Н. А. Иконникова // Труды Международ. симп. Надежность и качество. – 2012. – Т. 2. – С. 205–207.
4. Калиниченко, А. Я. Повышение надежности электронных систем управления ЭПС / А. Я. Калиниченко, А. И. Фесечко // Актуальные вопросы образования и науки. – 2012. – № 1–2. – С. 90–93.

УДК 621.337.22

*Калиниченко, А. Я.*

**Принципы построения бесконтактных электронных контроллеров машиниста транспортных средств** / А. Я. Калиниченко, А. И. Фесечко // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 57–61.

*Калиниченко Анатолий Яковлевич*  
доктор технических наук, профессор,  
заместитель директора,  
НП «Научно-инновационный центр»  
академии электротехнических наук  
Российской Федерации  
(107998, Россия, г. Москва,  
ул. Мытищинская 1-я, д. 27, стр. 1)  
8-(985)-429-24-12  
E-mail: akalinich@mail.ru

*Фесечко Анатолий Иванович*  
кандидат технических наук,  
доцент, научный сотрудник,  
отдел безопасности и нелинейного анализа,  
Учреждение Российской академии наук,  
Вычислительный центр им. А. А. Дородницына РАН  
(119333, г. Москва, ул. Вавилова, 40)  
E-mail: fesechko\_anatoli@mail.ru

**Аннотация.** Рассматриваются принципы построения электронных контроллеров машиниста электроподвижного состава, которые позволяют повысить технологичность их изготовления и обслуживания, снизить расходы цветных металлов, повысить качественный уровень изделия, степень унификации, надежность и безопасность.

**Ключевые слова:** электронные контроллеры машиниста, тяговые двигатели, электроподвижной состав.

*Kalinichenko Anatoliy Yakovlevich*  
doctor of technical sciences, professor,  
deputy director of the national research  
and innovation center  
of «Academy of electrotechnical sciences»  
of Russian Federation  
(107998, 1, 27, 1-st Mytishchinskaya street,  
Moscow, Russia)

*Fesechko Anatoliy Ivanovich*  
candidate of technical sciences, associate professor,  
the scientific worker of the division of safety  
and nonlinear analysis,  
Dorodnicyn Computer Center  
of the Russian academy of sciences  
(119333, 40 Vavilova street, Moscow, Russia)

**Abstract.** This article discusses the principles of constructing electronic driver's rolling stock of controllers that will improve the manufacturability of their construction and maintenance, reduce the cost of non-ferrous metals, improve quality of products, the degree of standardization, reliability and security.

**Key words:** electronic controller driver, the traction motors, composition.

## МОДУЛЬ СОПРЯЖЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ВИБРОИСПЫТАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ПРОГРАММНОЙ СРЕДОЙ УПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯМИ

Н. К. Юрков, А. В. Затылкин, Д. А. Голушко

### *Введение*

Основная цель испытаний в широком смысле заключается в получении информации о состоянии испытываемого объекта или системы [1]. Эта информация в дальнейшем может использоваться для решения различных задач.

Прежде чем допустить изготовленное электронное средство (ЭС) к использованию, необходимо проверить тем или иным способом его соответствие установленным требованиям по всей совокупности рассматриваемых показателей. Такая проверка осуществляется путем сопоставления измеренных значений тех или иных показателей свойств ЭС с их заданными, расчетными значениями.

В настоящее время во всем мире существует большое количество научно-практических разработок, касающихся проведения исследований в области повышения эффективности виброиспытательного оборудования и методик проведения испытаний [2–4].

Основное направление в данной области принадлежит разработке оборудования, позволяющего подвергнуть объект испытаний одновременно вибрационному, ударному, тепловому и другим воздействиям. Также есть много интересных разработок и промышленных образцов, позволяющих задавать вибрационные воздействия одновременно в трех плоскостях.

Тем не менее недостаточно внимания уделено развитию испытательного оборудования, позволяющего исследовать динамические характеристики объекта при имитации воздействия нескольких источников вибрации или внесении вибрационного воздействия через точки крепления объекта в противофазе (необходимо на частотах от 500–5000 Гц).

Таким образом, следует сделать вывод – необходимо разработать программно-аппаратный модуль сопряжения многоканальной виброиспытательной установки с программной средой управления исследованиями [5], который позволил бы:

- 1) осуществить управление вибростендом с ПК с помощью СОМ интерфейса;
- 2) задавать программно такие параметры СОМ интерфейса, как скорость передачи данных, паритеты, количество бит данных и стоповые биты;
- 3) обеспечить выбор частоты задаваемого воздействия в диапазоне от 0,1 до 10 000 Гц;
- 4) обеспечить выбор значения фазы задаваемого воздействия, на каждом канале относительно первого, в диапазоне от 0 до 360°.

#### 1. Структурная схема модуля сопряжения

Предложенная нами структурная схема модуля сопряжения показана на рис. 1. Структурный состав схемы позволяет пользователю выбрать доступный СОМ-порт, задать его настройки (согласно разработанному протоколу обмена данными), задать параметры генератора и вывести последовательность тестовых сигналов в соответствии с требованиями испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам [6, 7].

Основная программа должна содержать перечень всех используемых модулей и несколько исполняемых операторов, обеспечивающих создание нужных окон и связь программы с Windows. Работоспособность программы обеспечивается кодом, содержащимся в отдельных модулях. Код процедур и функций располагается в исполняемой части модуля, которая может быть скрыта от пользователя.

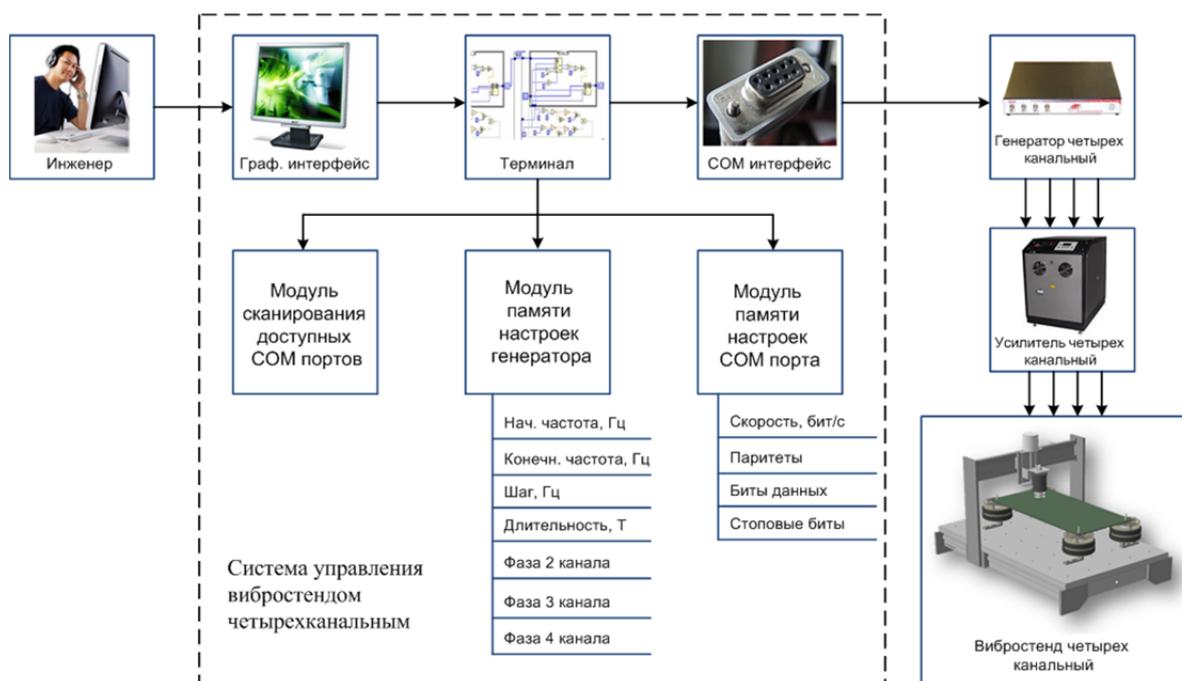


Рис. 1. Структура программно-аппаратного модуля сопряжения

## 2. Описание протокола обмена данными

Также нами предложен протокол обмена данными между системой управления и аппаратной частью вибростенда (табл. 1). Использование предлагаемого протокола позволяет осуществить следующие функции:

- запуск генератора осуществляется по команде «start» 0b00011100 (bin), 28 (dec);
- настройка генератора осуществляется пакетом из 8 байт с заголовком «setting» 0b00111000 (bin), 56 (dec). После приема команды «setting» генератор ожидает 7 байтов с настройками. После чего переходит в спящий режим;
- перевод генератора в спящий режим во время синтеза испытательного сигнала осуществляется по команде «mute» – любой байт за исключением «start» и «setting».

Таблица 1

### Команды протокола обмена данными

Регистр	Наименование параметра	Расчетные формулы, описание и возможные варианты
56 (dec)	Команда «setting»	Заголовок пакета
freq_M	Начальная частота	$freq\_M = FH / 5.632 \text{ (round(integer))}$
last	Конечная частота	Last = 1 → FK = 1442 Гц; Last = 2 → FK = 2884 Гц; Last = 3 → FK = 4326 Гц; Last = 4 → FK = 5767 Гц, где FK – требуемая конечная частота
width	Длительность	Количество периодов на одной частоте
step	Шаг изменения частоты	$Step = \Delta f / 0,022$ , где $\Delta f$ – требуемое смещение частоты
phase_2	Фаза второго канала	$phase\_2 = \phi_2 \cdot 360 / 256$ , где $\phi_2$ – требуемое смещение фазы второго канала относительно первого канала
phase_3	Фаза третьего канала	$phase\_3 = (360 - \phi_2 + \phi_3) \cdot 360 / 256$ , где $\phi_3$ – требуемое смещение фазы третьего канала относительно первого канала
phase_4	Фаза четвертого канала	$phase\_4 = (360 - \phi_3 + \phi_4) \cdot 360 / 256$ , где $\phi_4$ – требуемое смещение фазы четвертого канала относительно первого канала

### 3. Методика работы с программным обеспечением

Постоянное усложнение технических систем вызывает необходимость проведения их анализа с целью совершенствования функционирования и повышения эффективности. Реализация программы интегрированной компьютеризации производства ICAM (ICAM – Integrated Computer Aided Manufacturing) потребовала создания адекватных методов анализа и проектирования производственных систем и способов обмена информацией между специалистами, занимающимися такими проблемами.

Методология IDEF (ICAM Definition), позволяющая исследовать структуру, параметры и характеристики производственно-технических и организационно-экономических систем была разработана для удовлетворения этой потребности в рамках программы ICAM.

Предложенная нами методика работы с программным обеспечением представлена в виде диаграммы IDEF0 на рис. 2. Последовательность выполняемых действий состоит из задания параметров генератора, выбора доступного COM-порта, задания его настроек (согласно разработанному протоколу обмена данными) и вывода последовательности тестовых сигналов.

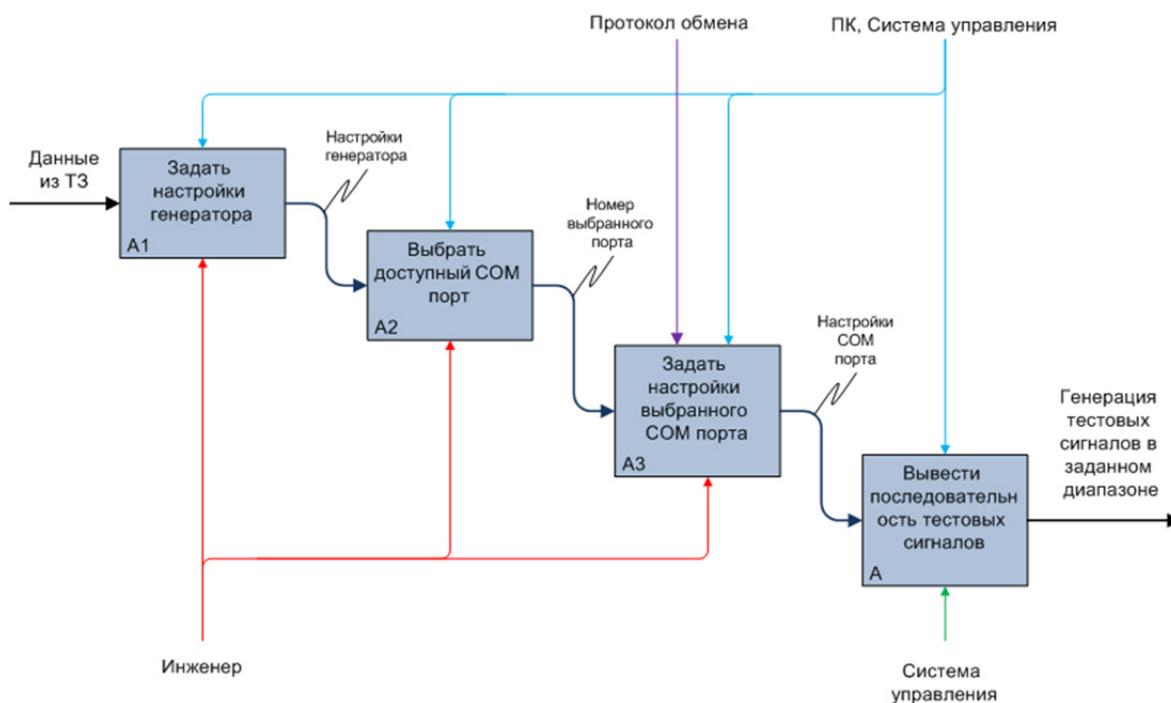


Рис. 2. Структура методики работы с программным обеспечением

Далее рассмотрим более подробно каждый из них применительно к существующему аппаратному комплексу «Виброскан».

На этапе задания параметров генератора пользователю следует задать начальную и конечные частоты, длительность (в периодах), шаг изменения частоты (Гц), а также разность фазы относительно первого канала. Входными данными процесса служат данные из технического задания. Выходными данными процесса являются подготовленные для дальнейшей работы параметры генерируемых сигналов.

На этапе выбора доступного COM-порта пользователю следует указать номер того порта, через который будет осуществляться коммутация программного обеспечения с аппаратной частью. Входными данными процесса служат параметры генерируемых сигналов. Выходными данными процесса является номер выбранного COM-порта.

На этапе вывода последовательности тестовых сигналов программа передает в выбранный COM-порт данные в виде машинного кода, которые содержат информацию о диапазоне и параметрах тестовых сигналов. Входными данными процесса служит номер выбранного COM-порта. Выходными данными процесса является генерация тестовых сигналов в заданном диапазоне частот.

Таким образом, была разработана инженерная методика работы с программным обеспечением на основе методологии IDEF0, позволяющая управлять вибрационными испытаниями с помощью вибростенда четырехканального.

### Заключение

В данной работе решена задача автоматизации процесса испытаний бортовых ЭС на устойчивость к внешним вибрационным воздействиям. В работе проведен анализ современных программных систем управления вибрационными испытаниями бортовых ЭС. Выделены их достоинства и недостатки. Разработана структурная схема системы управления, интерфейс пользователя, протокол обмена данными. Полученные результаты доведены до алгоритмической и программной реализации. Разработана инженерная методика работы с программным обеспечением на основе методологии IDEF0, позволяющая управлять вибрационными испытаниями с помощью вибростенда четырехканального.

### Список литературы

1. Остроменский, П. И. Вибрационные испытания радиоаппаратуры и приборов / П. И. Остроменский. – Новосибирск : Изд-во Новосиб. ун-та, 1992. – 173 с.
2. Горячев, Н. В. Исследование и разработка средств и методик анализа и автоматизированного выбора систем охлаждения радиоэлектронной аппаратуры / Н. В. Горячев, М. К. Танатов, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 70–75.
3. Затылкин, А. В. Исследование влияния деформационной составляющей внешнего вибрационного воздействия на надежность радиоэлектронных средств / А. В. Затылкин, Д. А. Голушко, Д. А. Рындин // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2013. – Т. 2. – С. 42–43.
4. Юрков, Н. К. Концепция синтеза сложных наукоемких изделий / Н. К. Юрков // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2012. – Т. 1. – С. 3–6.
5. Голушко, Д. А. Методика проведения испытания электронных средств на стойкость к внешним вибрационным воздействиям с учетом их конструктивных особенностей / Д. А. Голушко // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2014. – Т. 1. – С. 373–377.
6. Затылкин, А. В. Алгоритмическое и программное обеспечение расчета параметров статически неопределимых систем амортизации РЭС / А. В. Затылкин, Г. В. Таньков, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 33–40.
7. Лысенко, А. В. Способ снижения величины вибрационных нагрузок в несущих конструкциях электронных средств и методика его реализации / А. В. Лысенко // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 41–44.

УДК 62-529

*Юрков, Н. К.*

**Модуль сопряжения многоканальной виброиспытательной установки с программной средой управления исследованиями** / Н. К. Юрков, А. В. Затылкин, Д. А. Голушко // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 62–66.

**Юрков Николай Кондратьевич**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой,  
кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
8-(412)-56-43-46  
E-mail: yurkov\_NK@mail.ru

**Затылкин Александр Валентинович**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
8-(412)-36-82-12  
E-mail: al.zatylkin@yandex.ru

**Yurkov Nikolay Kondrat'evich**

doctor of technical sciences, professor,  
head of sub-department of radio equipment  
design and production,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Zatylkin Alexander Valentinovich**

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of radio equipment  
design and production,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Голушко Дмитрий Александрович**

аспирант,  
кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
8-(412)-36-82-12  
E-mail: oldalez@yandex.ru

**Аннотация.** Показана актуальность проведения испытаний электронных средств, указаны основные направления развития виброиспытательного оборудования. Отмечено, что недостаточно внимания уделено развитию средств, позволяющих исследовать динамические характеристики сложных технических систем при имитации воздействия нескольких источников вибрации. Сформулированы требования к модулю сопряжения многоканальной виброиспытательной установки с программной средой управления исследованиями, предложена его структурная схема. Разработан протокол обмена данными между программной средой управления исследованиями и аппаратной частью виброиспытательной установки. Полученные результаты доведены до алгоритмической и программной реализации.

**Ключевые слова:** виброиспытательная установка, среда управления исследованиями, модуль сопряжения, протокол обмена данными, испытания.

**Golushko Dmitriy Aleksandrovich**

postgraduate student,  
sub-department of radio equipment  
design and production,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Abstract.** The urgency of testing electronic means, the basic directions of vibration test equipment. It is noted that not enough attention is paid to developing the means to investigate the dynamic characteristics of complex technical systems in simulating the impact of several sources of vibration. The requirements to the module interfacing with multi-channel vibration test setup software environment management studies offered its block diagram. Developed communication protocol between software environment research management and hardware Vibration test setup. The results obtained are reported to the algorithmic and software implementation.

**Key words:** vibration test setup, management environment research, interface module, the communication protocol of the test.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

И. А. Кострикина, А. С. Ишков, Е. Н. Галкина

### *Введение*

Информационно-измерительные системы (ИИС) представляют собой совокупность средств измерений (СИ), вычислительных и других устройств, функционирующих в различных режимах и условиях. Одним из основных путей совершенствования ИИС является повышение точности, надежности и стабильности метрологических и эксплуатационных характеристик, входящих в их состав СИ.

Актуальной является задача метрологического обеспечения СИ, так как расширение сфер их применения, многообразие и сложность измерительных задач приводят к необходимости улучшения их надежностных характеристик. Проблема повышения надежности связана в основном с усложнением конструкции ИИС, повышением требований к нормируемым метрологическим характеристикам, условиям эксплуатации, с наличием в составе СИ средств вычислительной техники и т.д.

Основными показателями метрологической надежности СИ являются их метрологические характеристики, которые обеспечивают возможность измерения физических величин с заданной погрешностью. Отклонение в процессе эксплуатации метрологических характеристик СИ за установленные пределы, нормируемые в технической документации, может привести к нарушению работоспособности не только СИ, но и всей ИИС.

### *Определение поверочного интервала*

Одним из способов поддержки СИ в метрологическом исправном состоянии является их периодическая поверка. Она проводится метрологическими службами предприятий согласно установленным правилам и методикам через определенные интервалы времени. При этом возникает следующая проблема. С одной стороны, для снижения риска эксплуатации неисправных СИ и предотвращения аварийных ситуаций в работе ИИС поверка должна проводиться как можно чаще. С другой стороны, частые поверки оказываются экономически нецелесообразными и требуют значительных человеческих и аппаратных ресурсов. Следовательно, возникает задача определения оптимального временного интервала между поверками СИ.

Рекомендации по установлению значения временного интервала между поверками СИ не позволяют полностью решить данную проблему [1]. Корректировка межповерочного интервала (МПИ) СИ в процессе эксплуатации может быть проведена на основе анализа данных, полученных по результатам периодических поверок или калибровок. Однако при назначении первичного МПИ СИ сведений о результатах периодических поверок не имеется, хотя метрологическая надежность устанавливается при проектировании и разработке СИ.

Согласно [1] при назначении первичного МПИ СИ могут быть приняты во внимание:

- результаты испытаний СИ или его отдельных блоков, данные о нестабильности элементов СИ;
- показатели надежности СИ;
- данные об опыте эксплуатации аналогов СИ.

Определение временного интервала между поверками СИ по итогам длительных испытаний является дорогостоящей процедурой. Результат таких испытаний может потерять свою актуальность при последующих изменениях в технологии производства, например, при замене поставщика компонентов или материалов.

Назначение временного интервала между поверками СИ по результатам испытаний его аналогов может внести неопределенность в связи с возможным отличием в свойствах материалов и

компонентов, а также в особенностях используемой технологии производства и условиях эксплуатации. Возрастающая скорость изменения технологий и материалов усугубляет это обстоятельство.

Авторами данной статьи на основе [1–4] был проведен анализ различных методов назначения МПИ. Результаты анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Методы назначения интервалов между поверками СИ

Методы назначения интервалов между поверками	Достоинства	Недостатки
1. На основе статистически скрытых и явных отказов	Высокая достоверность результатов испытаний	Большое количество экспериментальных данных по процессам изменения во времени; исследования весьма трудоемки
2. По экономическому критерию	Минимизация расходов на эксплуатацию СИ; устранение последствия от возможных ошибок, вызванных погрешностями измерения	Применение приближенных моделей
3. Произвольное назначение первоначального интервала между поверками СИ с последующей корректировкой в течение всего срока службы СИ	Минимальные финансовые и временные затраты	Определение первого интервала между поверками СИ; не на все СИ существуют нормативные документы с рекомендациями первого интервала между поверками СИ; отсутствуют данные о надежности элементов
4. Назначение интервалов между поверками СИ по аналогам	Отсутствие финансовых и временных затрат	Результат аналогов не всегда корректно применять к новому разрабатываемому средству измерения; у приборов аналогов отсутствуют данные о параметрах надежности
5. Расчет интервалов между поверками СИ по показателям надежности (интенсивности отказов $\lambda_t$ , или наработки на метрологический отказ $T_{mo}$ )	Высокая достоверность результатов испытаний	Большое количество экспериментальных данных по процессам изменения во времени; исследования весьма трудоемки
6. Расчет интервалов между поверками СИ по анализу прогрессирующей составляющей погрешности СИ	Отсутствие финансовых затрат и высокая достоверность результатов испытаний	Необходимость наличия сведений о поверке за длительный промежуток времени, а также затраты на постоянный контроль необходимости проведения поверки

Результаты анализа свидетельствуют о том, что ни один из приведенных методов не дает полной информации о значении временного интервала между поверками СИ. Для получения наиболее достоверного значения временного интервала между поверками СИ необходимо проведение натурных испытаний в течение срока наработки до отказа. Однако натурные испытания целесообразно проводить при небольших значениях наработки на отказ, так как проведение натурных испытаний является трудоемким процессом и приводит к затратам финансовых и человеческих ресурсов. В связи с этим целесообразно проведение ускоренных испытаний СИ и дальнейшее прогнозирование значений выходных параметров, по которым определяется работоспособность СИ [5].

На основании вышеизложенного и с учетом рекомендаций [6] авторами предложена методика назначения временного интервала между поверками по результатам ускоренных испытаний.

В предлагаемой методике в качестве критерия нормируемого показателя используется предел допустимого значения вероятности метрологической исправности СИ  $P_{ми}^*$  в момент очередной поверки (либо предел средней доли СИ забракованных при поверке,  $(\epsilon^* = 1 - P_{ми}^*)$ ). Рекомендуемые значения  $P_{ми}^* = 0,90...0,95$  [1, 7].

Предлагаемый авторами алгоритм определения интервала между поверками по результатам ускоренных испытаний представлен на рис. 1.

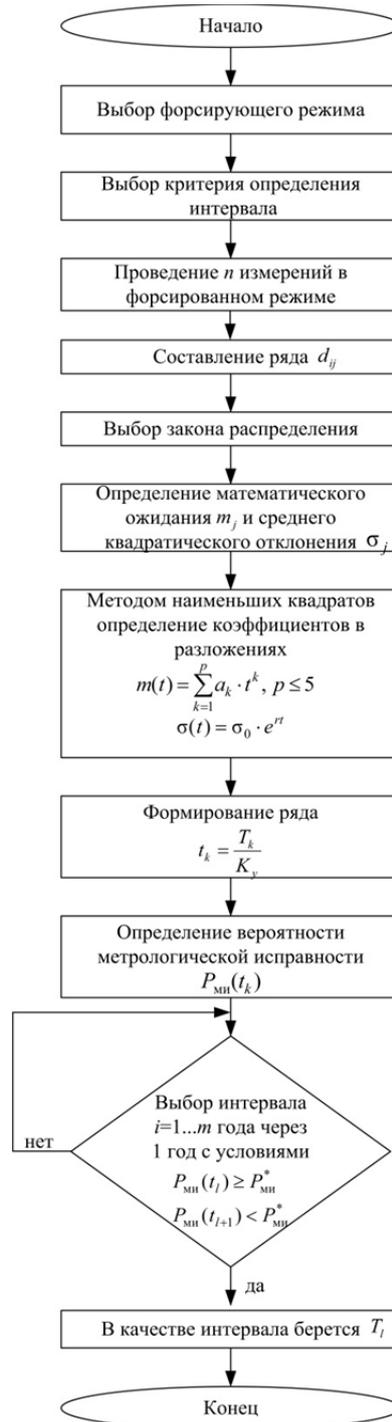


Рис. 1. Алгоритм определения интервала между поверками по результатам ускоренных испытаний

Применительно к выбранному критерию определения интервала между поверками алгоритм испытаний заключается в следующем. Проводится  $n$  измерений характеристик данного типа СИ. Составляется ряд  $d_{ij}$ , где  $i$  – номер образца компонента данного типа,  $j$  – номер измерения.

Закон распределения выбирается в результате анализа опытных данных о наработке до отказа аналогичных СИ. При выборе теоретического закона распределения необходимо учитывать информацию о характере физических процессов, вызывающих наступление отказа СИ. Предлагается использование методики определения закона распределения по коэффициентам асимметрии

и эксцесса путем проверки гипотез. Задача проверки гипотезы о законах распределения по коэффициентам асимметрии и эксцесса начинается с выбора нулевой гипотезы. По результатам экспериментов определяются статистические оценки коэффициента асимметрии  $a_{\bar{x}}$  и коэффициента эксцесса  $e_{\bar{x}}$ . Например, для нормального закона распределения коэффициенты выглядят следующим образом:

$$a_{\bar{x}} = \frac{\mu_3[\bar{x}]}{\sigma_{\bar{x}}^3}; \quad e_{\bar{x}} = \frac{\mu_4[\bar{x}]}{\sigma_{\bar{x}}^4} - 3,$$

$$\text{где } \sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_{\bar{x}})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n-1}}; \quad \mu_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - M_{\bar{x}})^3; \quad \mu_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - M_{\bar{x}})^4.$$

Значения оценок  $a_{\bar{x}}$  и  $e_{\bar{x}}$  позволяют приблизительно определить закон распределения. Для этого по полученным значениям оценок на диаграмму наносится точка  $(a_{\bar{x}}; e_{\bar{x}})$ .

Задача проверки гипотезы о виде распределения происходит по критерию согласия Пирсона  $\chi^2$ . Это один из основных критериев, который можно представить как сумму отношений квадратов расхождений между теоретическими ( $f_T$ ) и эмпирическими ( $f$ ) частотами к теоретическим частотам

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_i - f_T)^2}{f_T},$$

где  $k$  – число групп, на которые разбито эмпирическое распределение;  $f_i$  – наблюдаемая частота признака в  $i$ -й группе;  $f_T$  – теоретическая частота.

Для распределения  $\chi^2$  составлены таблицы, где указано критическое значение критерия согласия  $\chi^2$  для выбранного уровня значимости  $\alpha$  и степеней свободы  $df$ . Уровень значимости  $\alpha$  – вероятность ошибочного отклонения выдвинутой гипотезы, т.е. вероятность того, что будет отвергнута правильная гипотеза. Вероятность  $P$  – статистическая достоверность принятия верной гипотезы. В статистике чаще всего пользуются тремя уровнями значимости:  $\alpha = 0,10$ , тогда  $P = 0,90$ ;  $\alpha = 0,05$ , тогда  $P = 0,95$ ;  $\alpha = 0,01$ , тогда  $P = 0,99$ .

Число степеней свободы  $df$  определяется как число групп в ряду распределения минус число связей:  $df = k - z$ . Под числом связей понимается число показателей эмпирического ряда, использованных при вычислении теоретических частот, т.е. показателей, связывающих эмпирические и теоретические частоты. Например, при выравнивании по кривой нормального распределения имеется три связи. Поэтому при выравнивании по кривой нормального распределения число степеней свободы определяется как  $df = k - 3$ . Для оценки существенности расчетное значение сравнивается с табличным  $\chi_{\text{табл}}^2$ .

При полном совпадении теоретического и эмпирического распределения  $\chi^2 = 0$ , в противном случае  $\chi^2 > 0$ . Если  $\chi_{\text{расч}}^2 > \chi_{\text{табл}}^2$ , то при заданном уровне значимости и числе степеней свободы гипотеза о несущественности (случайности) расхождений отклоняется. Если  $\chi_{\text{расч}}^2 < \chi_{\text{табл}}^2$ , то гипотеза принимается, и с вероятностью  $P = (1 - \alpha)$  можно утверждать, что расхождение между теоретическими и эмпирическими частотами случайно. Критерий согласия Пирсона используется, если объем совокупности достаточно велик ( $N > 50$ ), при этом частота каждой группы должна быть не менее 5.

Для каждого номера измерения  $j$  определяются математическое ожидание  $m_j$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma_j$ , например, для нормального закона распределения формулы имеют следующий вид:

$$m_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_{ij},$$

$$\sigma_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\delta_{ij} - m_j)^2.$$

Используя полученные значения  $m_j$ ,  $\sigma_j$ , с помощью метода наименьших квадратов находятся коэффициенты в разложениях

$$m(t) = \sum_{k=1}^p a_k \cdot t^k, \quad p \leq 5,$$

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cdot e^{rt}.$$

Формируется ряд

$$t_k = \frac{T_k}{K_y},$$

где  $T_k$  – значения интервала между поверками из ряда 1, 2, 3 и т.д. через один год;  $K_y$  – коэффициент ускорения для данного компонента.

Вероятность метрологической исправности в момент времени  $t_k$  для нормального закона распределения определяется по формуле

$$P_{\text{ми}}(t_k) = \Phi\left(\frac{\delta^* - m(t_k)}{\sigma(t_k)}\right) - \Phi\left(\frac{-\delta^* - m(t_k)}{\sigma(t_k)}\right),$$

где  $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{x^2}{2}} dx$ ;  $\delta^*$  – предел допускаемых значений метрологической характеристики СИ.

Выбирается номер  $l$ , такой, чтобы выполнялись следующие условия:

$$P_{\text{ми}}(t_l) \geq P_{\text{ми}}^*;$$

$$P_{\text{ми}}(t_{l+1}) < P_{\text{ми}}^*.$$

В качестве интервала между поверками берется значение  $T_l$  [8].

### Заключение

Таким образом, предложенный алгоритм (рис. 1) начинается с выбора форсирующего режима [9, 10]. Выбор и обоснование форсирующего режима, последовательность испытаний можно осуществить только после детального анализа объекта исследования и процессов его функционирования. Для решения поставленной задачи целесообразно использовать статистические методы планирования эксперимента. Один из возможных методов приведен для организации факторного эксперимента. При ускоренных испытаниях необходимо реализовать следующие этапы:

- 1) выбор выходного (определяющего) параметра;
- 2) выбор состава влияющих на выходной параметр факторов (внутренних параметров и внешних воздействий);
- 3) выдвижение и проверка гипотезы о виде математической модели процесса изменения выходного параметра;
- 4) выбор диапазонов варьирования всех факторов;
- 5) выбор количества опытов, т.е. определение числа узловых точек факторного пространства и числа повторений опытов в каждой точке;
- 6) построение матрицы планирования и проведение эксперимента;
- 7) вычисление коэффициентов модели;
- 8) оценка значимости коэффициентов модели и адекватности модели.

Предложенная авторами методика может применяться при разработке новых типов СИ или вводе в эксплуатацию, ввезенных в Российскую Федерацию, импортных СИ. Методика позволит более достоверно устанавливать МПИ и в целом увеличить эффективность поверочных работ. В результате оптимального установления временного интервала между поверками обеспечивается стабильность метрологических характеристик СИ, что способствует повышению метрологической надежности ИИС.

### Список литературы

1. РМГ 74-2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений.
2. Артемьев, Б. Г. Справочное пособие для работников метрологических служб / Б. Г. Артемьев, Ю. Е. Лукашов. – М. : Изд-во стандартов, 2004. – 646 с.
3. Данилов, А. А. Методы установления и корректировки межповерочных интервалов средств измерений / А. А. Данилов // Главный метролог. – 2005. – № 6. – С. 29–37.
4. МОЗМ. МД10. Руководство по определению межповерочных интервалов средств измерений, используемых в испытательных лабораториях.
5. Ишков, А. С. Методы прогнозирования показателей надежности радиоэлектронных компонентов / А. С. Ишков, И. В. Костюченко, М. К. Маркелов // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2009. – Т. 2. – С. 31–32.
6. МИ 2554-99 Государственная система обеспечения единства измерений. Теплосчетчики. Методика испытаний с целью подтверждения межповерочных интервалов. Общие требования.
7. Дорохов, А. Н. Обеспечение надежности сложных технических систем : учеб. / А. Н. Дорохов, В. А. Керножицкий, А. Н. Миронов. – СПб. : Лань, 2011. – 352 с.
8. Кострикина, И. А. Применение методов планирования ускоренных испытаний СИ при определении межповерочных интервалов / И. А. Кострикина, Е. В. Мыскина // Мир измерений. – 2012. – № 11. – С. 46–48.
9. Безродный, Б. Ф. Оценка показателей надежности на основе определения объемов опытных партий изделий электроники / Б. Ф. Безродный, О. Ю. Шмелев, С. А. Майоров // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 2 (6). – С. 21–26.
10. Ишков, А. С. Автоматизированная система контроля климатических испытаний радиоэлектронных компонентов / А. С. Ишков, А. И. Тарабрин, А. С. Колдов // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2014. – Т. 2. – С. 94–95.

УДК 621.317

*Кострикина, И. А.*

**Применение методов ускоренных испытаний для исследований метрологической надежности информационно-измерительных систем** / И. А. Кострикина, А. С. Ишков, Е. Н. Галкина // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 67–73.

***Кострикина Инна Анатольевна***

кандидат технических наук,  
начальник лаборатории,  
Научно-исследовательский институт  
электронно-механических приборов  
(440000, Россия, г. Пенза, ул. Каракозова, 44)  
E-mail: tbmc2@mail.ru

***Ишков Антон Сергеевич***

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра радиотехники и радиоэлектронных систем,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40),  
старший научный сотрудник,  
Научно-исследовательский институт  
электронно-механических приборов  
(440000, Россия, г. Пенза, ул. Каракозова, 44)  
E-mail: ishkovanton@mail.ru

***Kostrikina Inna Anatol'evna***

candidate of technical sciences, chief of laboratory,  
Scientific-research Institute  
of electronic-mechanical devices  
(440000, 44 Karakozov street, Penza, Russia)

***Ishkov Anton Sergeevich***

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of radio engineering  
and radio-electronic systems,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia),  
senior staff scientist,  
Scientific-research Institute  
of electronic-mechanical devices  
(440000, 44 Karakozov street, Penza, Russia)

**Галкина Екатерина Николаевна**

магистрант,  
кафедра метрологии и систем качества,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: katu000.92@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрена задача повышения метрологической надежности информационно-измерительных систем и входящих в их состав средств измерений. Предложена методика установления межповерочных интервалов средств измерений. Методика основана на вычислении вероятности метрологической исправности на основе результатов ускоренных испытаний.

**Ключевые слова:** средство измерений, надежность, ускоренные испытания, межповерочный интервал, прогнозирование.

**Galkina Ekaterina Nikolaevna**

master degree student,  
sub-department of metrology and quality systems,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Abstract.** The problem of increase of metrological reliability of information and measuring systems and the measuring instruments which are their part is considered. The technique of establishment of calibration interval of measuring instruments is offered. The method is based on calculating the probability of metrological serviceability based on the results of accelerated tests.

**Key words:** measuring instrument, reliability, the accelerated tests, calibration interval, forecasting.

# МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ

УДК 519.7

## АНАЛИЗ ПРОБЛЕМНОЙ СИТУАЦИИ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

В. К. Дежков

Любое производство – это сложная целеустремленная система (СЦС). Сложная целеустремленная система представляет собой совокупность подсистем и элементов с определенными связями между ними, обеспечивающими ее целенаправленное функционирование.

Целенаправленный процесс функционирования системы, т.е. совокупность направленных действий по преобразованию ресурсов в требуемый целевой эффект, называется операцией.

Из множества свойств, присущих любому процессу, для характеристики функционирования сложной системы (объекта) выбираются лишь те свойства, которые определяют качество данного процесса как объекта исследования. Поскольку на достижение целей операции расходуются ресурсы (финансовые, материальные, временные и пр.), то способность операции и самой системы наилучшим образом преобразовывать эти ресурсы зависит от показателей их качества.

По определению, качество – это свойство или совокупность свойств объекта (системы), обуславливающих его пригодность для использования по назначению [1].

Показатель качества объекта – это вектор, компоненты которого показатели его отдельных свойств, представляющие собой частные, единичные показатели качества объекта.

Критерий оценивания качества – это руководящее правило (условие или совокупность условий), вытекающее из принятых концепций и принципов оценивания, реализуемое при принятии того или иного решения (проектного, организационного, управленческого и т.п.) о качестве исследуемого объекта.

При оценивании качества любого объекта, описываемого  $n$ -мерным вектором показателей, реализуется совокупность критериев, каждый из которых в общем случае может принадлежать одному из трех классов:

- классу {G} критериев пригодности;
- классу {O} критериев оптимальности;
- классу {S} критериев превосходства.

Качество любого объекта в полной мере проявляется лишь в процессе его использования по назначению. Поэтому наиболее информативным и объективным является оценивание качества объекта по эффективности его целевого применения. Для такого оценивания объект должен быть подвергнут испытаниям, в ходе которых и выявляется его качество. Это относится как к качеству продукции вообще, так и качеству любой сложной системы, включая и такую систему, как предприятие в целом.

Однако, с одной стороны, далеко не все объекты могут быть испытаны в условиях, достаточно близких к тем, в которых приходится функционировать по назначению, а с другой –

наибольший практический интерес представляет априорная оценка качества объекта, т.е. оценка, полученная еще до его применения.

Так, например, для осуществления управления качеством продукции это качество необходимо оценить в процессе производства, и даже раньше – на этапе разработки образцов продукции.

Это же относится и к сложным системам, прогнозирование качества которых необходимо осуществить еще на этапе разработки, а оценку качества – на этапе приемных испытаний, предшествующем этапу ее применения в реальных условиях.

Априорное оценивание качества любого объекта без прямого его применения по назначению возможно, если известно соотношение, связывающее его характеристики (структуру, параметры, эксплуатационно-технические характеристики (ЭТХ) и т.п.) с выходными эффектами его целевого применения (функционирования по назначению) [1].

Итак, пусть объект функционирования – сложная система, и пусть  $Y_{<n>}$  – вектор выходного эффекта процесса ее функционирования (показатель виртуального качества его результатов),  $A'_{<k'>}$  – вектор виртуальных значений параметров и ЭТХ системы (структурных, организационных, технических, параметрических и т.п.),  $A''_{<k''>}$  – вектор виртуальных значений характеристик организации функционирования системы,  $B'_{<l'>}$  – вектор характеристик условий функционирования системы. Кроме того, пусть известно соотношение

$$Y_{<n>} = Y_{<n>}(A'_{<k'>}; A''_{<k''>}, B'_{<l'>}), \quad (1)$$

устанавливающее зависимость выходных эффектов (результатов) использования системы от параметров системы, ЭТХ и условий ее функционирования  $B'_{<l'>}$ . Тогда если через  $\{Y_{<n>}^{\partial}\}$  обозначить область допустимых значений  $Y_{<n>}^{\partial}$  вектора  $Y_{<n>}$ , т.е. таких, при которых система выполняет свои задачи, то критерий пригодности системы для целевого применения (критерий целевой пригодности) будет иметь следующее выражение:

$$G_{\text{цп}}: Y_{<n>} \in \{Y_{<n>}^{\partial}\} \approx U. \quad (2)$$

Если для оператора (1.1) существует обратный оператор по вектору  $A'_{<k'>}$ , то

$$A'_{<k'>} = A'_{<k'>}(Y_{<n>}; A''_{<k''>}, B'_{<l'>}) = Y_{<k'>}^{-1}(Y_{<n>}; A''_{<k''>}, B'_{<l'>}), \quad (3)$$

позволяющий выразить зависимость виртуальных значений параметров и ЭТХ системы от выходных эффектов, характеристик и условий функционирования  $B'_{<l'>}$ , то может быть определена область  $\{A'^{\partial}_{<k'>}\}$  допустимых значений  $A'^{\partial}_{<k'>}$  вектора  $A'_{<k'>}$  параметров и ЭТХ системы, при которых она может выполнять свои функции. Области допустимых значений вектора результатов (эффектов)  $\{Y_{<n>}^{\partial}\}$  можно поставить в соответствие область допустимых значений вектора параметров и ЭТХ системы  $\{A'^{\partial}_{<k'>}\}$ , что выражается следующими равенствами:

$$\{Y_{<n>}^{\partial}\} \Rightarrow \{A'^{\partial}_{<k'>}\} = \{A'^{1\partial}_{<k'>} : Y_{<n>}(A'^{1\partial}_{<k'>}; A''^H_{<k''>}, B'^H_{<l'>}) = Y_{<n>}^{\partial}\}, \quad (4)$$

где  $A''^H_{<k''>}$  – номинальные (расчетные) значения характеристик системы;  $B'^H_{<l'>}$  – номинальные (расчетные) значения характеристик условий функционирования систем, создаваемых в ходе приемочных испытаний.

Тогда критерий параметрической пригодности системы будет иметь вид

$$G : A'_{<k'>} \in \{A'^{\partial}_{<k'>}\} \cong U. \quad (5)$$

Таким образом, для контроля, проверки и приемки систем (и любой иной продукции) реализуется критерий (5), позволяющий управлять ее качеством, не подвергая систему использованию по целевому назначению.

Само собой разумеется, что в пределах области  $\{A_{<k'>}^{\partial}\}$  качества систем, удовлетворяющих критерию (5), могут быть различны, однако в его рамках оно считается одинаковым.

На практике допустимые значения  $A_{<k'>}^{\partial}$  параметров  $A'_{<k'>}$  определяются, как правило, экспериментально по результатам испытаний систем (стендовых, полигонных и т.п.).

На основе критерия (5) дается оценка качества целенаправленного процесса функционирования системы или результата функционирования, связанного с достижением цели операции. Под операцией в данном случае понимается совокупность или последовательность согласованных действий, направленных на достижение некоторой конкретной цели [2].

Из множества свойств, присущих любому процессу, для характеристики целенаправленных действий существенны так называемые операционные свойства. Совокупность операционных свойств порождает обобщенное свойство, называемое эффективностью.

Эффективность – это комплексное операционное свойство объекта, характеризующее его приспособленность к достижению цели функционирования или к выполнению стоящей перед данным объектом задачи [2].

В общем случае по отношению к цели рассматриваемого действия эффект качественно может быть как положительным (позитивным), так и отрицательным (негативным). Однако при определении показателя качества результатов операции речь всегда идет о положительном (по смыслу, а не по количественному значению) эффекте. Поэтому эффективность – это не просто способность давать эффект, а способность обеспечивать результат (или результативность), соотношенный к затратам ресурсов всех видов (материальных, энергетических, информационных, временных, людских и т.п.) [3].

Резюмируя сказанное, следует отметить, что необходимо различать показатели эффективности и показатели эффектов операции. Последние, оценивая в какой-то мере качество процесса функционирования объекта, характеризуют эффективность операции лишь косвенно, как потенциально возможную, без учета ее цели, т.е. в разомкнутой схеме. Поэтому подобные показатели пригодны лишь для сравнительного оценивания качества различных операций и только после достаточного обоснования их структуры и не пригодны для оценивания их эффективности [4, 5].

Содержательно цель операции может определяться по-разному, однако во всех случаях она заключается в получении требуемых результатов, соответствующих цели операции, что формально означает выполнение условия (5), т.е.

$$G : Y_{<3>} \in \{Y_{<3>}^{\partial}\} \cong U. \quad (6)$$

Соотношение (6) равносильно пригодности операции по результатам для использования по назначению с требуемой целью и, таким образом, представляет собой формальное выражение цели операции.

Для сложных систем типичной является ситуация, когда на их ЭТХ и параметры на условия их функционирования и применения, а также на параметры и ЭТХ процесса функционирования воздействует целый ряд априори неизвестных, а потому случайных факторов. Поэтому до проведения операции (а именно, в этот период исследование эффективности представляет наибольший интерес) векторы  $A_{<k>}$  и  $B'_{<l'>}$ , а следовательно, и вектор  $Y_{<3>}$  оказываются случайными. Более того, априори случайными являются и допустимые значения  $Y_{<3>}^{\partial}$  вектора  $Y_{<3>}$ , зависящие от условий применения системы, характеризующихся вектором  $B''_{<l''>}$ , поскольку до проведения операции неизвестно, какими должны быть ее результаты, чтобы поставленная цель операции была достигнута. Таким образом,

$$Y_{<3>} = Y_{<3>}(\widehat{A}_{<k>}; \widehat{B}'_{<l'>}); \quad (7)$$

$$\widehat{Y}_{<3>}^{\partial} = Y_{<3>}^{\partial}(\widehat{B}''_{<l''>}). \quad (8)$$

В результате в реальных условиях критерий пригодности операции (ее результатов) к достижению ее цели принимает вид

$$G : \widehat{Y}_{<3>} \in \{\widehat{Y}_{<3>}^{\partial}\} \cong U. \quad (9)$$

Как видно из выражения (9), пригодность операции есть случайное событие, по которому непосредственно судить о качестве операции (об ее эффективности) нельзя. Поэтому характеристикой качества операции, т.е. степени ее приспособленности к достижению цели в условиях реального воздействия случайных факторов, может служить только вероятность события (9), характеризующая степень его объективной возможности (возможности его наступления) при заданном комплексе условий

$$\langle A'_{<k>}, A''_{<k>}, B'_{<l>}, B''_{<l>} \rangle = \langle X_{<m_1>}^{(1)}, X_{<m_2>}^{(2)} \rangle = X_{<m>},$$

т.е.

$$P_{\text{ДЦ}} = P\left(\widehat{Y}_{<3>} \in \{\widehat{Y}_{<3>}^{\partial}\}\right) = P_{<\text{ДЦ}>}(X_{<m>}), \quad (10)$$

где вектор  $X_{<m>} = \langle X_{<m_1>}^{(1)}, X_{<m_2>}^{(2)} \rangle = \langle A_{<k>}, B_{<l>} \rangle$  не случаен, так как в отличие от (7) и (8) здесь компоненты векторов  $A_{<k>}$  и  $B_{<l>}$  либо являются неслучайными компонентами случайных векторов  $\widehat{A}_{<k>}$  и  $\widehat{B}_{<l>}$  из (7) и (8), либо представляют собой вероятностные характеристики их случайных компонент.

Вероятность  $P_{\text{ДЦ}}$  называется вероятностью достижения цели операции или вероятностью выполнения задачи системой и является показателем эффективности ее функционирования, т.е. мерой степени достижения цели.

Следует обратить внимание на то, что допустимые значения  $Y_{<3>}^{\partial}$  результатов операции обусловлены характеристиками  $\widehat{B}_{<l>}''$  ситуации (условий применения системы), в которой реально придется выполнять задачу и которая априори (до операции) неизвестна, и не может быть задана исследователем, т.е. лицом, принимающим решение (ЛПР). Естественно, назвать эти характеристики  $\widehat{B}_{<l>}''$  объективными факторами. Как будет показано, наряду с объективными факторами на характеристики области  $\{Y_{<3>}^{\partial}\}$  могут оказывать влияние и субъективные факторы, т.е. решения о требованиях к виртуальным результатам  $\widehat{Y}_{<3>}$  операции, принимаемых ЛПР на этапе планирования и организации операции с учетом функциональных возможностей системы и прогнозируемых ЛПР условий ее применения.

Итак, при внимательном анализе процесса оценивания обнаруживается, что он реализуется в два этапа. На первом этапе производится измерение характеристик объекта, т.е. определение или вычисление его показателей, а на втором – собственно оценивание объекта (его качества) по принятому критерию, принадлежащему одному из трех классов (пригодности, оптимальности, превосходства).

Формально измерение может рассматриваться как оценивание по критерию равенства измеренного значения показателя одному из уровней эталонной шкалы. Однако поскольку на этапе выработки суждения об исследуемом объекте результат измерения представляет собой исходную информацию (или часть ее), то схему оценивания на первом этапе логично назвать разомкнутой, а на втором – замкнутой.

В заключение заметим, что при оценивании качества объекта наблюдаются лишь его существенные свойства (атрибуты), поэтому каждому значению показателя качества соответствует целая совокупность «значений» его истинного качества, обусловленных неконтролируемыми «несущественными» свойствами. Кроме того, в рамках критерия пригодности (лежащего в основе анализа качества) объекты, значения показателей качества которых различны, но принадлежат области допустимых значений, считаются одинаковыми по качеству. Поэтому, строго говоря, при оценивании качества объекта истинное «значение» остается неизвестным (как и при любом оценивании), и, следовательно, в сущности оценивается целый класс объектов потенциально «одинакового» качества. В пределах данного «класса» качества объектов различны, хотя все приемлемы по критерию пригодности. Это объективный факт, сопутствующий априорному (до применения по назначению) оцениванию качества объекта, с которым следует считаться при принятии решения [3].

Изложенная выше методология оценивания показателей результативности и эффективности систем применяется как по отношению к отдельным видам продукции предприятий, так и к самим предприятиям, являющимся сложными системами, требующими оценивания показателей качества их функционирования, на основе которых принимаются решения о выборе стратегии их поведения. Как будет показано ниже, выбор стратегии предприятия определяется как на основе оценок его внутренних параметров (ресурсов, организации, управленческих решений, персонала и т.п.), так и оценок внешних факторов (конкурентной среды, доминантных преимуществ на рынке, технической и экономической политики государственных органов и т.п.).

### Список литературы

1. Марков, В. М. Эффективность и экономика заводских испытаний и контроля качества. Ч. 1 / В. М. Марков. – Л., 1974.
2. Моисеев, Н. Н. Математические основы системного анализа / Н. Н. Моисеев. – М. : Наука, 1981.
3. Современное состояние теории исследования операций / под ред. Н. Н. Моисеева. – М. : Наука, 1975.
4. Юрков, Н. К. Модели и алгоритмы управления интегрированными производственными комплексами : моногр. / Н. К. Юрков. – Пенза : Информационно-издательский центр ПГУ, 2003. – 198 с.
5. Юрков, Н. К. Рекуррентная модель управления иерархической многоуровневой распределенной производственной системы / Н. К. Юрков // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2003. – С. 20–24.
6. Юрков, Н. К. Системный подход к проблеме принятия управленческих решений / Н. К. Юрков // Труды Междунар. симп. Надежность и качество. – 2006. – Т. 1. – С. 84–87.

### УДК 519.7

Дедков, В. К.

Анализ проблемной ситуации и разработка моделей управления производством / В. К. Дедков // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 74–78.

#### Дедков Виталий Кириллович

доктор технических наук, профессор,  
научный сотрудник отдела безопасности  
и нелинейного анализа,  
Учреждение Российской академии наук,  
Вычислительный центр  
им. А. А. Дородницына РАН  
(119333, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, 40)  
8-(495)-135-61-95  
E-mail: dedkov-33@rambler.ru

**Аннотация.** В статье показано, что качество любого объекта в полной мере проявляется лишь в процессе его использования по назначению. Однако такой способ оценивания качества технического объекта во многих случаях реализовать не представляется возможным. Поэтому в данной статье рассматривается метод получения априорной оценки качества, т.е. метод оценки качества объекта, получаемой до его практического применения.

**Ключевые слова:** сложная целеустремленная система (СЦС), показатель качества, критерий оценивания качества, показатель эффективности процесса, вектор параметров, вектор характеристик функционирования.

#### Dedkov Vitaliy Kirillovich

doctor of technical sciences, professor, the scientific  
worker of the division of safety and nonlinear analysis,  
Dorodnicyn Computer Center  
of the Russian academy of sciences  
(119333, 40 Vavilova street, Moscow, Russia)

**Abstract.** The article show that the quality of any object is fully evident only in the course of its intended use. However, this method of technical facility quality assessment in many cases, it is not possible to implement. Therefore, this article explains how to obtain a priori estimates of quality, i.e. the method of assessing the quality of an object obtained prior to its practical application.

**Key words:** complex purposeful systems, quality criteria, quality assessment, process efficiency, vector, vector of characteristics of the parameters.

# НАДЕЖНОСТЬ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 004.932.2

## МЕТОДИКА РАСШИРЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «КАРДИОВИЗОР-06С»

С. С. Садыков, А. С. Белякова

### *Введение*

В течение последних 20 лет уровень применения компьютеров в кардиологии значительно повысился. Различные программно-технические комплексы используются для проведения обследований, хранения и накопления медицинской информации. Регистрация электрокардиограммы в покое и при нагрузке, суточных данных артериального давления, ультразвуковые исследования сердца, рентгенография проводятся с применением персональных компьютеров [1–3].

Программно-технический комплекс (ПТК) «КардиоВизор-06С» является одной из последних разработок российских ученых в области кардиологии [4]. «КардиоВизор-06С» представляет собой компьютерный скрининг-анализатор, предназначенный для экспресс-оценки состояния сердца по ЭКГ-сигналам от конечностей пациента. Особенностью данного прибора является дисперсионный анализ низкоамплитудных колебаний ЭКГ и выявления изменений в работе сердца на ранних стадиях.

Целью исследования является разработка методики расширения диагностических возможностей ПТК «КардиоВизор-06С» при определении сердечно-сосудистых патологий за счет анализа дополнительных признаков изображений портрета сердца.

Результаты проведения обследования на «КардиоВизор-06С» представляются 11 дисперсионными характеристиками  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_{11}\}$  (табл. 1) и цветными RGB изображениями портрета сердца (рис. 1) [5].

Таблица 1

Дисперсионные характеристики

№	Характеристика	Диапазон значений	Норма
1	Индекс миокарда	0–100	<15
2	Индекс ритма	0–100	<15
3	Пульс		60–90
4–12	Код детализации $G_1, G_2, \dots, G_9$	0–16	0

Портрет сердца служит для визуализации изменений в работе сердца. В норме он имеет ровную зеленую окраску, а при патологии на портрете сердца наблюдаются оттенки красных, фиолетовых цветов. Интенсивность окраски показывает степень поражения. Интерпретация портрета сердца субъективна, так как полностью зависит от особенностей зрительной системы врача.

кардиолога. Кроме того, часть информации остается невидной глазу в силу невозможности различать незначительные изменения оттенков цвета на изображении.

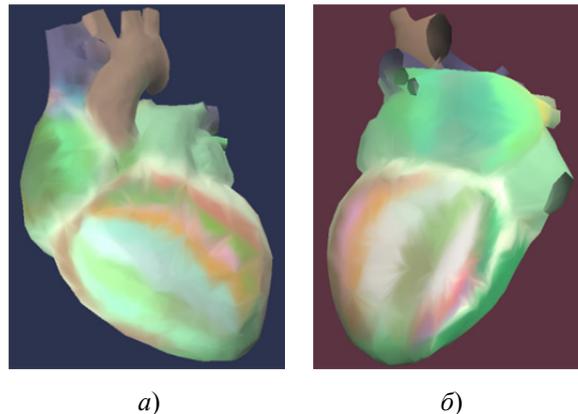


Рис. 1. Изображения портрета сердца:  
*a* – левое; *б* – правое

Расчет и анализ признаков изображений портрета сердца позволит повысить объективность интерпретации его окраски и, следовательно, увеличить диагностические возможности ПТК «КардиоВизор-06С».

Согласно схеме, приведенной в [4], каждой из изображений портрета сердца состоит из 15 областей, цветовая окраска которых является индикатором определенных процессов, происходящих в мышце работающего сердца [1]. Каждая из цветовых составляющих RGB несет определенную информацию о цветовых оттенках изображения и поэтому необходимо анализировать все каналы изображений.

Для выявления характерных признаков изображений портрета сердца при различных сердечно-сосудистых заболеваниях (ССЗ) предлагается использовать статистические признаки первого и второго порядка, вычисляемые для каналов *R*, *G*, *B* всех областей сегментированного портрета сердца.

Каждое из изображений портретов сердца  $f(x, y)$  является дискретным, где  $x, y$  – пространственные координаты, а значение функции в любой точке, задаваемой этими координатами, называется интенсивностью изображения в этой точке. Для описания изображений вычисляются следующие признаки для каждой из 15 областей. Распределение вероятностей значений яркости первого порядка определяется как [6]:

$$P(b) \equiv \Pr\{f(x, y) = b\}, \quad (1)$$

где  $0 \leq b \leq L - 1$  – уровни квантования.

Анализируемые гистограммные признаки  $G = \{g_1, g_2, \dots, g_6\}$  вычисляются следующим образом [6]:

1) среднее

$$g_1 = \sum_{b=0}^{L-1} bP(b); \quad (2)$$

2) дисперсия

$$g_2^2 = \sum_{b=0}^{L-1} (b - g_1)^2 P(b); \quad (3)$$

3) коэффициент асимметрии

$$g_3 = \frac{1}{g_2^3} \sum_{b=0}^{L-1} (b - g_1)^3 P(b); \quad (4)$$

4) коэффициент эксцесса

$$g_4 = \frac{1}{g_2^4} \sum_{b=0}^{L-1} (b - g_1)^4 P(b) - 3; \quad (5)$$

5) энергия

$$g_5 = \sum_{b=0}^{L-1} [P(b)]^2; \quad (6)$$

6) энтропия

$$g_6 = - \sum_{b=0}^{L-1} P(b) \log_2 [P(b)]. \quad (7)$$

Статистические признаки изображений представляют собой характеристики вероятности распределения яркости изображения и рассчитываются на основе GLC-матрицы смежности или матрицы частот взаимных уровней яркости изображения, предложенной Хараликом [6].

Матрица частот взаимных уровней яркости изображения  $f(x, y)$  представляет собой оценку плотности распределения вероятностей второго порядка, полученную по изображению в предположении, что плотность вероятности зависит лишь от расположения двух пикселей.

Обозначим элементы GLC-матрицы изображения  $f(x, y)$  как  $h(x', y')$ :

$$h(x', y') = \begin{cases} 1, & f(x, y) = x', f(x+k, y+l) = y' \\ 0, & f(x, y) \neq x' \text{ или } f(x+k, y+l) \neq y'. \end{cases} \quad (8)$$

Функция  $h(x', y')$  показывает, имеют ли пиксели, расположенные на заданном расстоянии  $(k, l)$ , заданные уровни яркости  $(x', y')$ .

На основе матрицы  $h(x', y')$  рассчитываются статистические признаки второго порядка изображений  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_{13}\}$  [5]:

1) среднее по строкам

$$t_1 = \sum_{x'} x' \sum_{y'} h(x', y'); \quad (9)$$

2) среднее по столбцам

$$t_2 = \sum_{y'} y' \sum_{x'} h(x', y'); \quad (10)$$

3) дисперсия средних по строкам

$$t_3 = \sum_{x'} (x' - t_1)^2 \sum_{y'} h(x', y'); \quad (11)$$

4) дисперсия средних по столбцам

$$t_4 = \sum_{y'} (y' - t_2)^2 \sum_{x'} h(x', y'); \quad (12)$$

5) угловой момент

$$t_5 = \sum_{x', y'} h(x', y')^2; \quad (13)$$

6) энтропия

$$t_6 = - \sum_{x', y'} h(x', y') \log h(x', y'); \quad (14)$$

7) обратный момент разностей

$$t_7 = \sum_{x',y'} \frac{1}{1+(x'-y')^2} h(x',y'); \quad (15)$$

8) момент разностей

$$t_8 = \sum_{x',y'} (x'-y')^2 h(x',y'); \quad (16)$$

9) корреляция

$$t_9 = \frac{\sum_{x',y'} ((x'-t_2)(y'-t_1))h(x',y')}{t_3 \cdot t_4}; \quad (17)$$

10) «тень» кластеризации

$$t_{10} = \sum_{x',y'} ((x'-t_2) + (y'-t_1))^3 h(x',y'); \quad (18)$$

11) «выпуклость» кластеров

$$t_{11} = \sum_{x',y'} ((x'-t_2) + (y'-t_1))^4 h(x',y'); \quad (19)$$

12) среднее сумм

$$t_{12} = \sum_k k \sum_{x'+y'=k} h(x',y'); \quad (20)$$

13) энтропия сумм

$$t_{13} = -\sum_k \sum_{x'+y'=k} h(x',y') \log \left( \sum_{x'+y'=k} h(x',y') \right). \quad (21)$$

Методику расширения диагностических возможностей ПТК «КардиоВизор-06С» можно описать следующим образом:

- 1) сегментация портрета сердца в соответствие со схемой [5];
- 2) расчет статистических признаков первого (1–6) и второго (9–21) порядков;
- 3) формирование обучающих выборок результатов обследований пациентов при исследуемых заболеваниях с учетом индивидуальных параметров пациента и данных других обследований (замеров артериального давления);
- 4) формирование эталонных значений признаков изображений портрета сердца при исследуемых заболеваниях;
- 5) на основе п. 4 группирование эталонов по близости между собой и формирование на их основе базы знаний эталонов ССЗ;
- 6) определение близости параметров сердца случайного пациента к эталонам заболеваний и формирование диагностического заключения. В качестве способа определения близости может использоваться метод ближайших соседей, метод  $k$ -средних, дискриминантный анализ и др.

### *Экспериментальное исследование методики*

Обозначим обучающие выборки результатов обследований пациентов, сформированные для каждого из исследуемых ССЗ:  $Y_1$  – здоровые,  $Y_2$  – пациенты с артериальной гипертензией,  $Y_3$  – пациенты с гипертонической болезнью,  $Y_4$  – пациенты с гипертонической болезнью 2-й степени,  $Y_5$  – пациенты с гипертонической болезнью 3-й степени  $Y_6$  – пациенты с прогрессирующей стенокардией,  $Y_7$  – пациенты со стенокардией напряжения. Для каждого вида ССЗ объем выборки составил 200 результатов обследований. У каждого пациента анализировались цветные изоб-

ражения портрета сердца, значения дисперсионных характеристик и индивидуальных параметров пациента  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_{19}\}$  (возраст, пол, вес, рост, пульс, замеры артериального давления, жалобы и факторы риска), хранящиеся в текстовом файле, например, результат обследования пациента № 1 при гипертонической болезни (рис. 2).

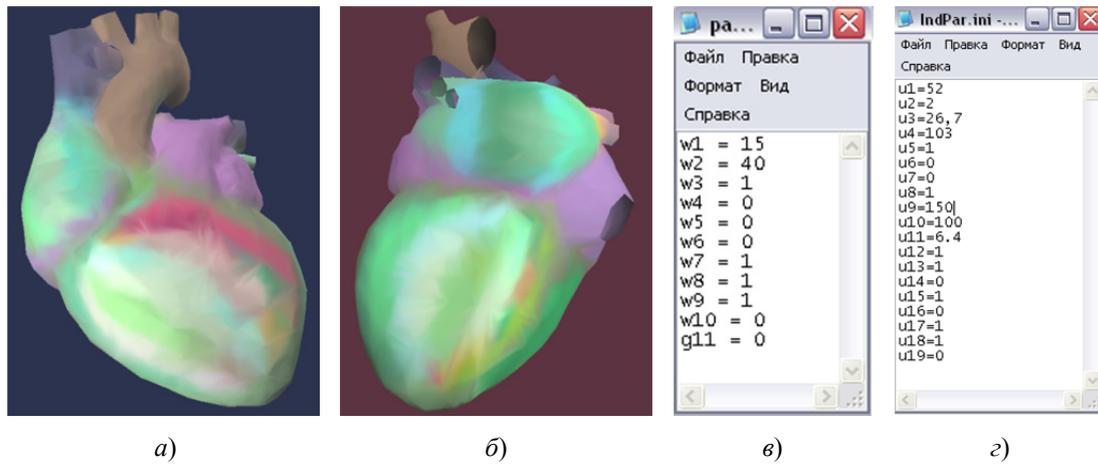


Рис. 2. Изображение портрета сердца:

*a* – левое; *б* – правое; *в* – экранный снимок файла, хранящего дисперсионные характеристики; *г* – экранный снимок файла, хранящего значения индивидуальных параметров пациента

В соответствии со схемой сегментации левое и правое изображения портрета сердца делятся на 15 областей, для каждой из которых рассчитываются статистические признаки первого и второго порядков в соответствии с (2–7, 9–21). Для каждого пациента рассчитывается

$$6(G + T) \cdot 15 + W + U = 6(6 + 13) \cdot 15 + 11 + 19 = 1740$$

признаков.

Операции сегментации и расчета признаков осуществляются для всех объектов обучающих выборок. В результате формируются эталонные интервалы каждого из анализируемых признаков (рис. 3).

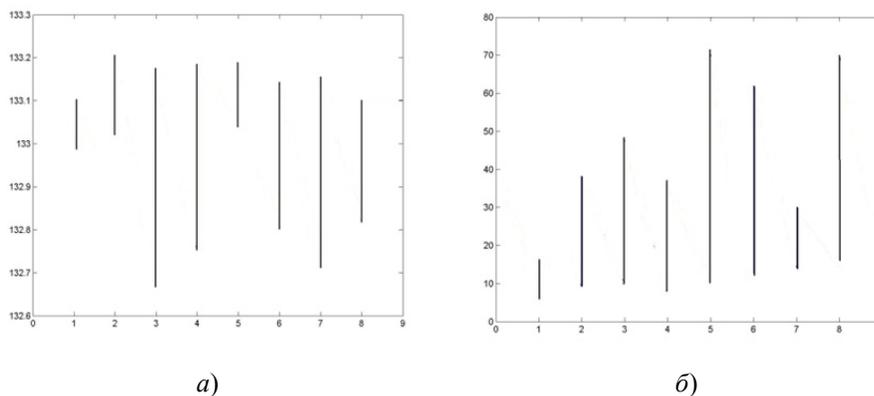


Рис. 3. Эталонные интервалы признаков:

*a* – среднее значение яркости (1); *б* – индекс миокарда

Полученные значения признаков при исследуемых ССЗ были нормированы в соответствии с алгоритмом, описанным в [3], и получены эталоны заболеваний.

Затем эталоны заболеваний были группированы на основе анализа близости их друг к другу в соответствии с расстоянием Евклида:

$$d_{y_i, y_j} = \sqrt{\sum_{k=1}^{1740} (x_{y_i, k} - x_{y_j, k})^2}$$

В результате тестирования было выявлено, что для объединения в группу расстояние между эталонами не должно превышать 1. Результаты формирования групповых эталонов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Количество эталонов ССЗ

$Y$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$
Кол-во групповых эталонов	4	8	10	9	12	13	9

Полученные групповые эталоны используются при определении типа заболевания у пациента: для этого определяют близость значений признаков пациента к каждому из групповых эталонов, затем определяется минимальное расстояние и принимается решения о том, что у пациента с наибольшей вероятностью наблюдается заболевание, расстояние до эталона которого минимально.

В результате исследования данного подхода на тестовой выборке были получены следующие результаты (табл. 3).

Таблица 3

Результаты тестирования

Диагностируемые заболевания	Кол-во правильно диагностированных ССЗ, %	Ошибки, %
Здоровые	100	0
Артериальная гипертензия	98	2
Гипертоническая болезнь	86	14
Гипертоническая болезнь 2-й степени	94	6
Гипертоническая болезнь 3-й степени	89	11
Прогрессирующая стенокардия	96	4
Стенокардия напряжения	87	13
Среднее	93	7

Имеющиеся ошибки (7 %) связаны с воздействием неконтролируемых факторов и являются приемлемым уровнем точности диагностик ССЗ.

### Заключение

В результате исследований были получены следующие результаты:

- предложен набор признаков изображений портрета сердца, позволяющий более подробно описать результаты обследований пациента с помощью ПТК «КардиоВизор-06С»;
- предложена методика расширения диагностических возможностей ПТК «КардиоВизор-06С» за счет анализа признаков изображений портрета сердца и выявления их характерных значений при различных ССЗ;
- использование данной методики направлено на повышение объективности оценки результатов анализа расширенного набора выходных данных, полученных в результате анализа изображений портретов сердца с учетом значений дисперсионных характеристик и индивидуальных параметров пациента.

### Список литературы

1. Евстигнеева, О. И. Влияние факторов риска на работу сердечной мышцы: наблюдение на кардиовизоре / О. И. Евстигнеева, И. А. Сафиулова, А. С. Белякова // Здоровье населения и среда обитания. – 2011. – № 4. – С. 34–37.
2. Садыков, С. С. Автоматическая объективная оценка и выбор наиболее значимых параметров для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний / С. С. Садыков, И. С. Сафиулова, А. С. Белякова // Автоматизация и современные технологии. – 2012. – № 3. – С. 27–33.
3. Садыков, С. С. Регрессионные модели стенокардии и зависимость их информативности от количества параметров работы сердца / С. С. Садыков, А. С. Белякова // Системы управления и информационные технологии. – 2011. – № 3.1 (45). – С. 190–194.

4. Исследование взаимосвязи между окраской участков портрета сердца и изменениями электрокардиограмм / С. С. Садыков, А. С. Белякова, О. И. Евстигнеева, С. А. Жолобов // Известия вузов. Приборостроение. – 2012. – № 2. – С. 64–69.
5. Анализ и исследование портретов сердца / С. С. Садыков, А. С. Белякова, Д. П. Гранченко, В. А. Комков // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2012. – № 19. – С. 20–28.
6. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.

**УДК 004.932.2**

**Садыков, С. С.**

**Методика расширения диагностических возможностей программно-технического комплекса «КАРДИОВИЗОР-06С»** / С. С. Садыков, А. С. Белякова // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 79–85.

**Садыков Султан Сидыкович**

доктор технических наук, профессор,  
кафедра информационных систем,  
Муромский институт (филиал)  
Владимирского государственного  
университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых,  
(600254, Россия, г. Муром, ул. Орловская, 23)  
8-920-913-82-42  
E-mail: sadykovss@yandex.ru

**Белякова Анна Сергеевна**

старший преподаватель,  
кафедра информационных систем,  
Муромский институт (филиал)  
Владимирского государственного  
университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых,  
(600254, Россия, г. Муром, ул. Орловская, 23)

**Аннотация.** Рассматривается методика расширения диагностических возможностей программно-технического комплекса «КардиоВизор-06С» на основе расчета и дальнейшего анализа статистических признаков, вычисляемых для каждой из областей изображений портрета сердца. Приводятся результаты тестирования предлагаемой методики при определении основных заболеваний сердечно-сосудистой системы.

**Ключевые слова:** диагностика, признак, КардиоВизор, сердечно-сосудистые заболевания.

**Sadykov Sultan Sidykovich**

doctor of technical sciences, professor,  
sub-department of information systems,  
Murom Institute (branch) of  
Vladimir State University  
named after A. G. and N. G. Stoletovyh,  
(600254, 23 Orlovskaya street, Murom, Russia)

**Belyakova Anna Sergeevna**

senior lecturer,  
sub-department of information systems,  
Murom Institute (branch) of  
Vladimir State University  
named after A. G. and N. G. Stoletovyh,  
(600254, 23 Orlovskaya street, Murom, Russia)

**Abstract.** In article the technique of expansion of diagnostic opportunities of the Kardiovizor-06C software and hardware complex on the basis of calculation and the further analysis of statistical signs of the first second order calculated for each of areas of images of a portrait of heart is considered. Results of testing of an offered technique are given when determining the main diseases of cardiovascular system.

**Key words:** diagnostics, sign, Kardiovizor, cardiovascular diseases.

**АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТИ РАКА МОЛОЧНОЙ  
ЖЕЛЕЗЫ НА ФОНЕ ФИБРОЗНО-КИСТОЗНОЙ МАСТОПАТИИ**

С. С. Садыков, Ю. А. Буланова, Е. А. Захарова

**Введение**

Неоспоримым фактом является утверждение: рак молочной железы (далее по тексту РМЖ) – самое серьезное и широко распространенное онкологическое заболевание у женщин, по статистике Ассоциации онкологов России каждая пятая женщина страдает от РМЖ, от которого умирает в среднем 16 000 человек ежегодно [1, 2].

На ранних стадиях РМЖ практически не обнаруживается, так как не вызывает болезненных ощущений у женщин, также велика вероятность просмотра данного заболевания на скрининговых маммограммах. Еще одной причиной просмотра является наличие фиброзно-кистозной мастопатии (далее по тексту ФКМ) в молочной железе. ФКМ представляет собой группу гетерогенных заболеваний, характеризующихся широким спектром пролиферативных и регрессивных изменений ткани молочной железы с нарушенным соотношением эпителиального и соединительно-тканного компонентов.

В рентгенологическом изображении эта форма мастопатии характеризуется массивным уплотнением железистого треугольника, нарушением нормального структурного рисунка. Вместо обычной радиарной тяжистости от основания железы к соску видна хаотичная, груботрабекулярная структура [3].

Диффузные фиброзно-кистозные мастопатии представляют интерес не только в связи со значительной частотой данной патологии, но и главным образом потому, что являются фоном для развития рака молочной железы. По мнению ряда авторов, малигнизации при непролиферативных формах фиброзно-кистозных мастопатий составляет 0,9 %, при умеренно выраженной пролиферации – 2 %, при резко выраженной пролиферации – 31 % [3].

На основе вышесказанного можно сказать, что требуется разработка нового алгоритма ранней диагностики РМЖ на фоне мастопатии, так как заболеваемость ФКМ неуклонно растет с каждым годом, следовательно, выявить рак становится еще труднее.

Целью данной работы является разработка алгоритма выявления области рака молочной железы на фоне фиброзно-кистозной мастопатии, позволяющего также визуализировать злокачественные новообразования для определения их точного местоположения и необходимых текстурных характеристик.

**Алгоритм выделения области рака молочной железы на фоне ФКМ**

Предлагаемый алгоритм выделения области РМЖ на фоне фиброзно-кистозной мастопатии состоит из следующих основных блоков: блок контрастирования, блок свертки, фильтрация, выделение контуров, блок расчета характеристик.

Исходная маммограмма – полутоновое изображение  $F(x, y)$ , оцифрованное с помощью сканера высокого разрешения и имеющее размер  $m \times n$  точек. Градации яркости пикселей распределены в диапазоне  $[0, 255]$ .

Следующим этапом является контрастирование исходного изображения, так как на маммограмме присутствуют уплотнения, которые характеризуют ФКМ, а под ними располагается опухоль. Если алгоритм применяется для инволютивной молочной железы, тогда улучшение контрастности не требуется.

Блок контрастирования снимка состоит из разработанного авторами алгоритма изменения значений яркости и контраста точек маммограммы на базе алгоритмов из [4, 5], позволяющих получить выходные снимки с лучшим качеством.

Разработанный авторами алгоритм гистограммных преобразований изображений, можно представить следующим образом:

$$g(x, y) = K \frac{t[F(x, y)] - t[0]}{mn} + (g_{\max} - g_{\min}) \frac{F(x, y) - F_{\text{cp}}}{F_{\text{cp}} - F_{\min}},$$

где  $g(x, y)$  – выходное изображение,  $g_{\max}$ ,  $g_{\min}$  – требуемое максимальное и минимальное значения яркости соответственно,  $K = 1,5$  – коэффициент ( $1 < K < 2$ ),  $F(x, y)$  – текущее значение яркости исходного снимка,  $F_{\max}$ ,  $F_{\min}$ ,  $F_{\text{cp}}$  – максимальное, минимальное и среднее значения исходной маммограммы соответственно,

$$t[i] = \sum_{j=0}^i \frac{v[j]}{mn},$$

где  $i$  – значение градации яркости точки выходного снимка ( $i = 0 \dots 255$ );  $j$  – значение градации яркости точки исходного снимка ( $j = 0 \dots 255, j < = i$ );  $v[j]$  – значение элемента гистограммы исходного снимка при яркости  $j$  ( $v[j] \in V$ );  $T$  – область изменения элементов гистограммы выходного изображения  $g(x, y)$ ;  $t[i]$  – значение элемента гистограммы выходного изображения при яркости  $i$  ( $t[i] \in T$ ),  $t[0] = t[F(x, y) = 0]$  – значение элемента гистограммы обработанного изображения при яркости точки, равной 0,  $m \times n$  – размер изображения.

Многочисленные исследования показали, что области злокачественных новообразований можно выделить с помощью разработанной авторами маски  $3 \times 3$  (рис. 1).

2	-1	2
1	-3	1
2	1	2

Рис. 1. Маска для выполнения свертки маммограмм

$$d(x, y) = S[g(x, y)],$$

где  $d(x, y)$  – выходное изображение;  $S$  – оператор свертки изображения по маске (рис. 1).

Данное преобразование маммографического снимка вызывает некоторое зашумление, поэтому к нему применяется медианная фильтрация с помощью маски  $3 \times 3$  [6]:

$$r(x, y) = M[d(x, y)],$$

где  $d(x, y)$  – выходное изображение;  $M$  – оператор медианной фильтрации.

Блок выделения контуров на изображении осуществляет локализацию нужной области с четкими границами.

Прежде чем выделить контуры на изображении, текстурная карта снимка подвергается бинаризации. Алгоритм бинаризации выглядит следующим образом:

$$b(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{если } r(x, y) \geq P \\ 0 & \end{cases},$$

где  $b(x, y)$  – выходное изображение;  $P$  – пороговое значение, которое равно максимальному значению яркости точек на изображении  $r(x, y)$ ,  $P = \max[r(x, y)]$ .

Выделение контуров осуществляется с помощью алгоритма из [5]:

$$k(x, y) = L[b(x, y)],$$

где  $b(x, y)$  – выходное изображение;  $L$  – оператор выделения контуров.

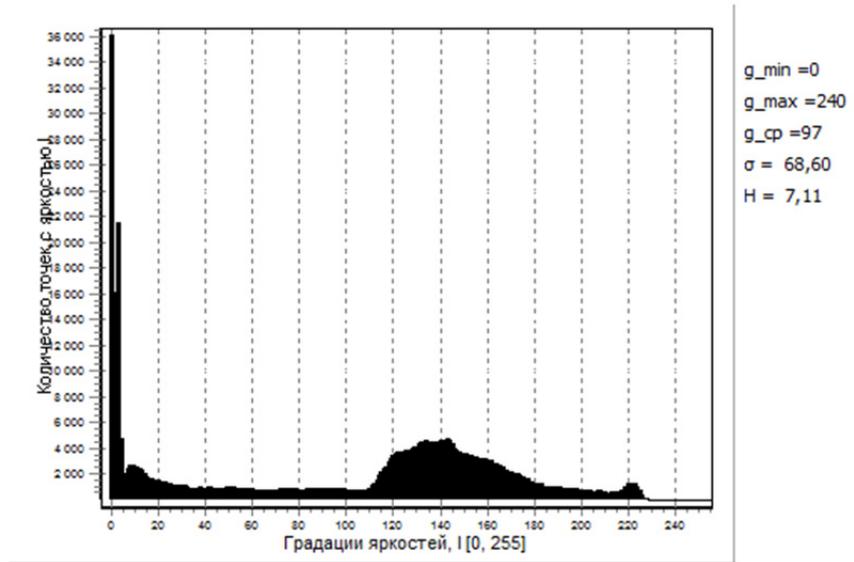
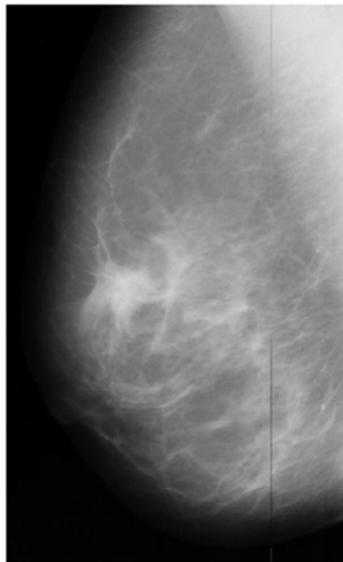
Блок определения характеристик осуществляет вычисление:

- 1) площади области РМЖ  $S_k$  (число точек области);

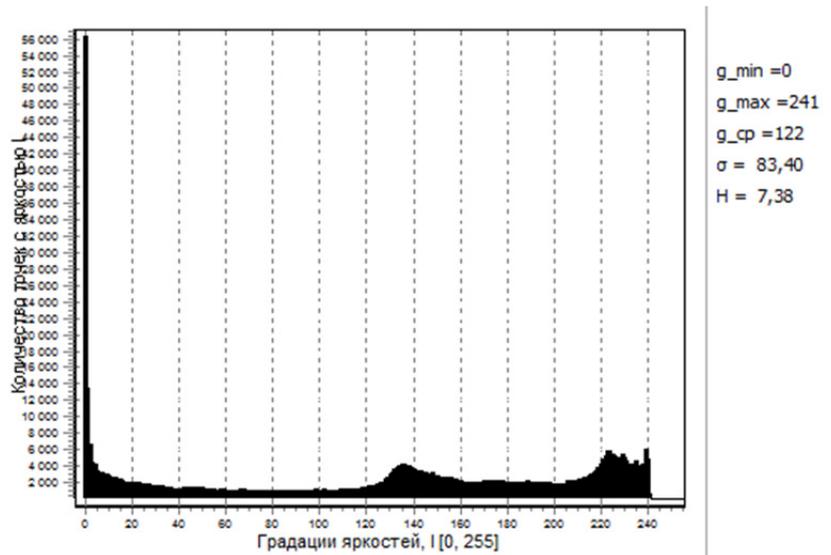
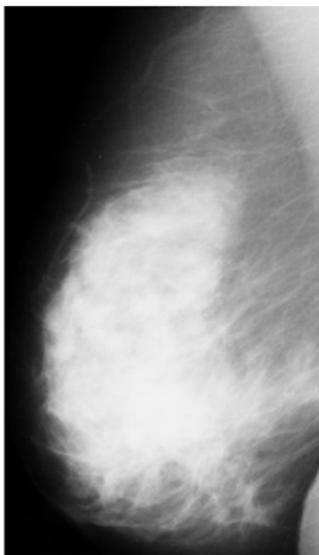
- 2) периметра области  $P$  – приблизительно равен количеству точек контура области;
- 3) коэффициента формы:  $K_{\phi} = \frac{P^2}{S_k}$  и другие геометрические характеристики кисты.

**Экспериментальное исследование алгоритма**

На представленной рентгенограмме (рис. 2,*а*) в проекции верхнего квадранта молочной железы определяется очаговое образование со спикурообразными контурами, кожа над ним утолщена, сосок втянут. Заключение: рак молочной железы.



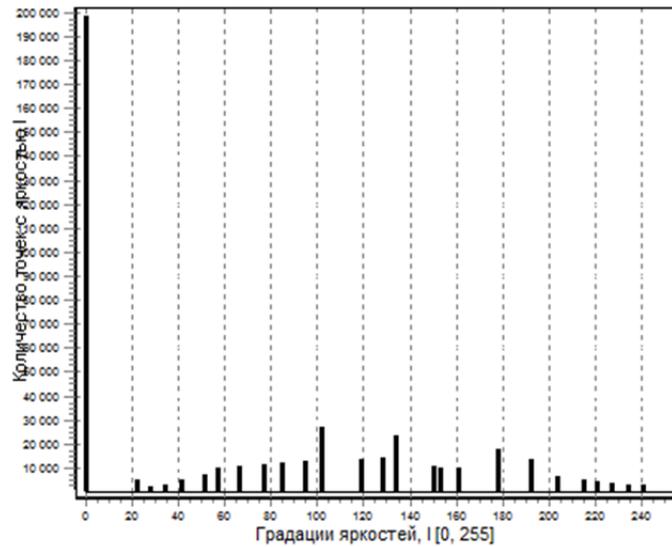
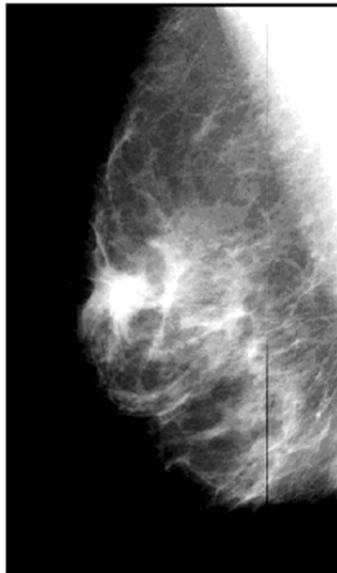
*а)*



*б)*

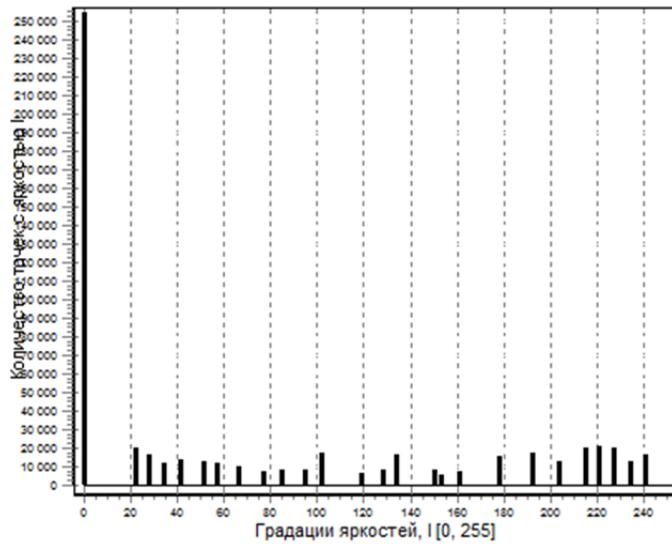
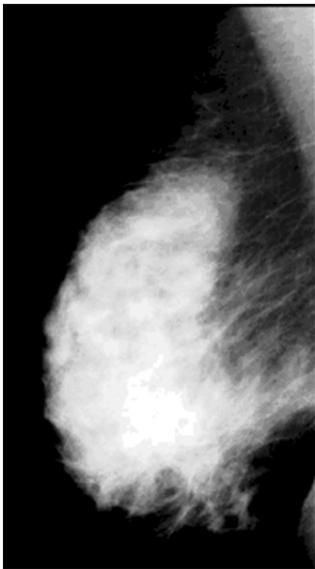
Рис. 2. Рентгенограммы: *а, б* – исходные маммограммы и их гистограммы соответственно

На рис. 2,*б* на фоне жировой инволюции ткани молочной железы определяется ФКБ средней выраженности с преобладанием фиброза. В верхнем квадранте можно заподозрить наличие очагового образования. При описании скрининговой маммограммы высока вероятность пропуска патологии (рис. 3).



g\_min = 0  
g\_max = 255  
g\_cp = 80  
 $\sigma = 84,50$   
H = 3,51

а)



g\_min = 0  
g\_max = 255  
g\_cp = 79  
 $\sigma = 90,50$   
H = 3,60

б)

Рис. 3. Результаты предложенного гистограммного преобразования:  
а – предложенный алгоритм преобразования гистограмм для рис. 2,а;  
б – предложенный алгоритм преобразования гистограмм для рис. 2,б

При обработке снимка на рис. 3,а предложенным методом контрастирования вышеописанное образование визуализируется лучше ввиду большего различия плотностей образования и окружающих тканей.

При контрастировании рис. 3,б видно очаговое образование высокой плотности с «размытыми» контурами, подозрительное на злокачественное новообразование.

Следующим шагом обработки является свертка преобразованного изображения по маске (рис. 4).

При применении метода свертки по маске (рис. 4) для изображения рис. 3,а получаем выделенные образования на фоне тканей молочной железы, причем образования малого размера являются «отсевами» опухоли, плохо видимые на аналоговой маммограмме.

При обработке предложенным методом данное новообразование (на рис. 3,б) выделено цветом на фоне окружающих тканей, что делает диагноз злокачественного новообразования наиболее вероятным.

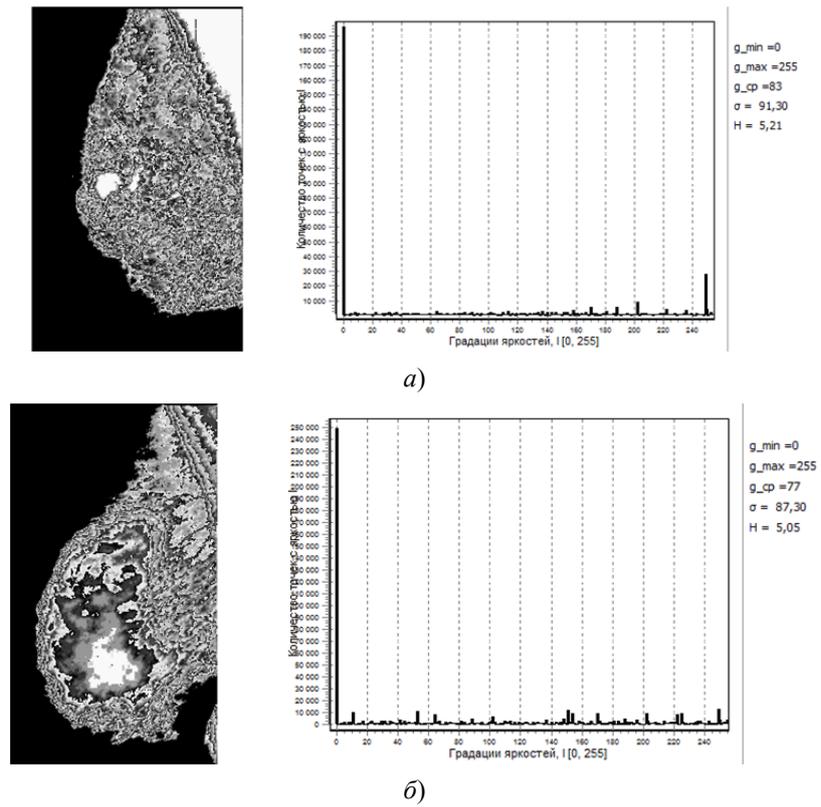


Рис. 4. Результат свертки изображений:  
 а – результат свертки изображения на рис. 3,а; б – результат свертки изображения на рис. 3,б

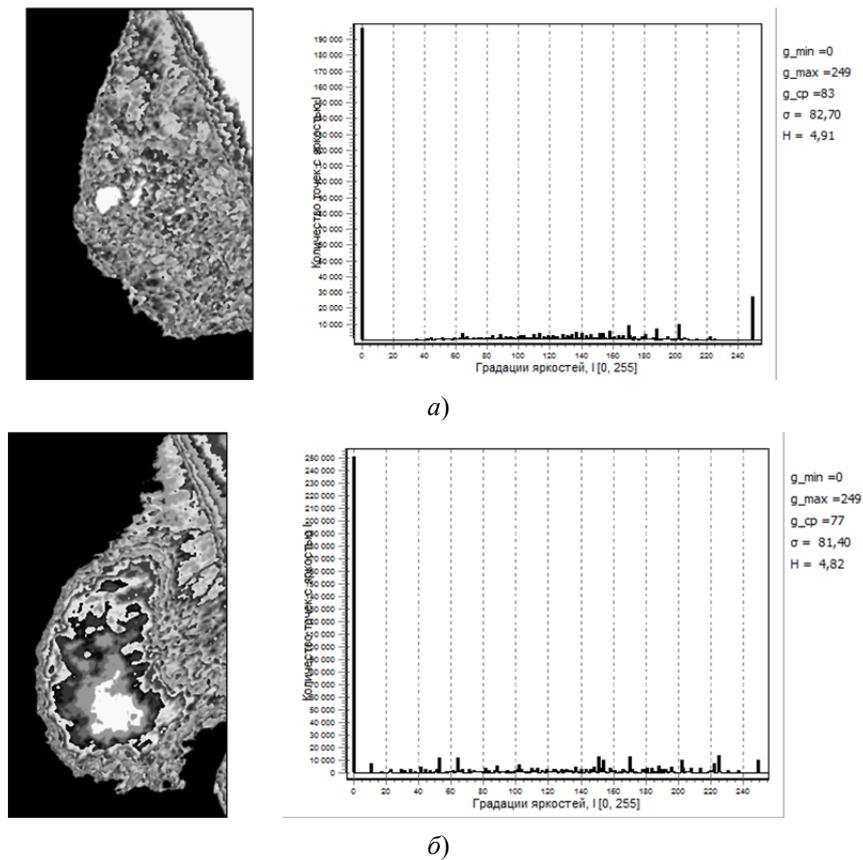


Рис. 5. Результаты медианной фильтрации изображений:  
 а – результат медианной фильтрации изображения на рис. 4,а; б – результат свертки изображения на рис. 4,б

Анализ представленных характеристик (максимальная и минимальная яркости, СКО и энтропия) показал, что предложенный алгоритм гистограммных преобразований значительно улучшает исходное изображение, так как увеличивает значение СКО и уменьшает значение энтропии обоих исходных изображений.

Далее применяем бинаризацию к фильтрованному изображению на рис. 5,а,б, а затем выделяем контуры выделенных областей новообразований (рис. 6).

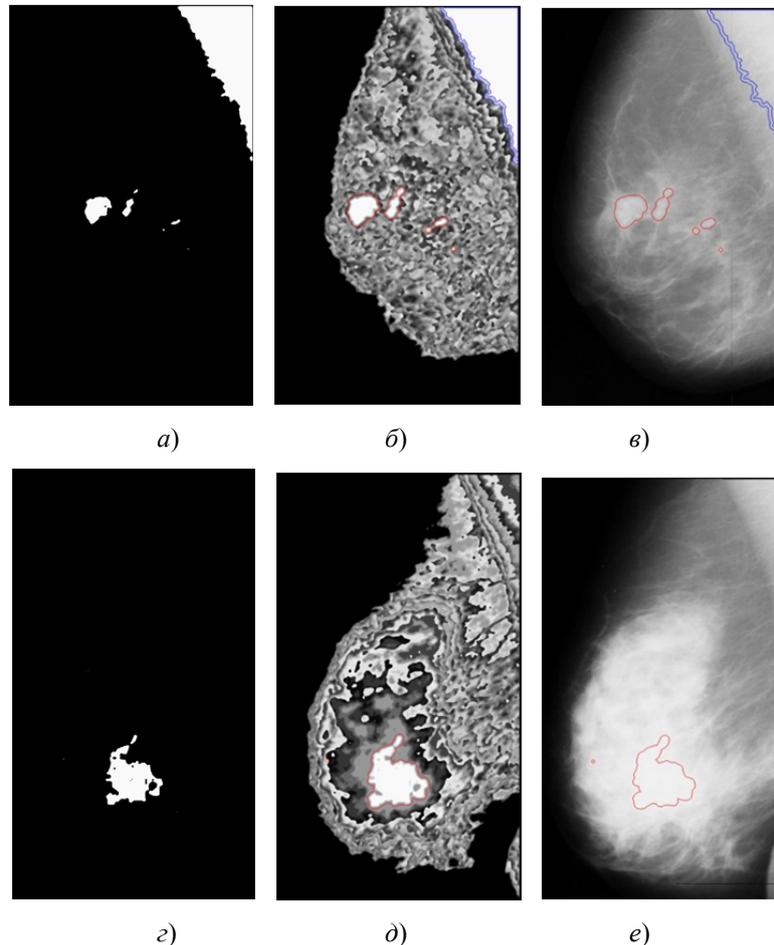


Рис. 6. Применение бинаризации: а, г – бинаризация изображения на рис. 5,а,б соответственно; б, д – наложение контура на изображение изображения рис. 5,а,б соответственно; в, е – наложение контура на исходные маммограммы рис. 2,а,б

### Заключение

На основе всего вышесказанного можно сформулировать следующие выводы по работе:

1. Предложенным алгоритмом обработано 43 маммограммы из них: на 26 ранее обнаружен и подтвержден гистологически рак, на 17 маммограммах изменения расценены как доброкачественные новообразования. При обработке маммограмм получено:

- области со злокачественными новообразованиями выделяются в 80 % случаев (21 маммограмма), в остальных случаях (5 маммограмм) область новообразования нечетко определена от окружающих тканей;

- из 17 маммограмм предложенным алгоритмом не распознается очаговое образование в 15 случаях. На двух маммограммах очаговое образование выделялось цветом, интерпретация данных результатов требует дополнительных исследований.

2. Разработанный алгоритм выделения на маммограмме области рака молочной железы позволяет определить на изображении область РМЖ, даже при наличии плотной тени от фиброно-кистозной мастопатии.

3. Совокупность алгоритмов гистограммных преобразований, сигма-фильтрации, текстурной сегментации, бинаризации и выделения контуров представляется в виде алгоритма выделения области рака молочной железы на маммограммах с фиброзно-кистозной мастопатией, который соответствует всем требованиям врачей-рентгенологов.

4. Использование предложенного алгоритма выделения области РМЖ на фоне ФКМ в дальнейшем дает возможность автоматического распознавания РМЖ на ранних стадиях даже при наличии сильнейшей фиброзно-кистозной мастопатии в молочной железе.

### Список литературы

1. Садыков, С. С. Методика выявления рака молочной железы / С. С. Садыков, Ю. А. Буланова, Е. А. Захарова // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2012. – Вып. 1 (19). – С. 168–178.
2. Состояние онкологической помощи населению России в 2011 году / под ред. В. И. Чиссова, В. В. Старинского, Г. В. Петровой. – М. : ФГБУ «МНИОИ им. П. А. Герцена» Минздравсоцразвития России, 2012.
3. Корженкова, Г. П. Комплексная рентгено-сонографическая диагностика заболеваний молочной железы / Г. П. Корженкова. – М. : ООО «Фирма СТРОМ», 2004. – 128 с.
4. Sankar, P. Ravi Rao Parallel Architecture for Implementation of Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization / P. Ravi Sankar, B. K. N. Srinivasa // International Journal of Advanced Engineering sciences and Technologies (IJAEST). – 2007. – V. 10, Issue № 1. – P. 047–051.
5. Rajesh kumar Rai. Underwater Image Segmentation using CLAHE Enhancement and Thresholding / Rajesh kumar Rai, Puran Gour, Balvant Singh // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. – 2012. – V. 2, Issue 1. – January. – P. 118–123.
6. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений : пер. с англ. / У. Прэтт. – М. : Мир, 1982. – Кн. 1. – 312 с. ; Кн. 2. – 493 с.

УДК 004.932.2

**Садыков, С. С.**

**Алгоритм выделения области рака молочной железы на фоне фиброзно-кистозной мастопатии / С. С. Садыков, Ю. А. Буланова, Е. А. Захарова // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 86–93.**

**Садыков Султан Сидыкович**

доктор технических наук, профессор,  
кафедра информационных систем,  
Муромский институт (филиал)  
Владимирского государственного  
университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых  
(600254, Россия, г. Муром, ул. Орловская, 23)  
8-920-913-82-42  
E-mail: sadykovss@yandex.ru

**Буланова Юлия Анатольевна**

старший преподаватель,  
кафедра информационных систем,  
Муромский институт (филиал)  
Владимирского государственного  
университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых  
(600254, Россия, г. Муром, ул. Орловская, 23)  
E-mail: yuliabulanova@yandex.ru

**Захарова Елена Алексеевна**

врач,  
Отделенческая больница на станции Муром,  
ОАО «РЖД»  
(602262, Россия, Владимирская обл., г. Муром,  
ул. Пионерская, д. 1)

**Sadykov Sultan Sidykovich**

doctor of technical sciences, professor,  
sub-department of information systems,  
Murom Institute (branch) of  
Vladimir State University  
named after A. G. and N. G. Stoletovyh  
(600254, 23 Orlovskaya street, Murom, Russia)

**Bulanova Yuliya Anatol'evna**

senior lecturer,  
sub-department of information systems,  
Murom Institute (branch) of  
Vladimir State University  
named after A. G. and N. G. Stoletovyh  
(600254, 23 Orlovskaya street, Murom, Russia)

**Zakharova Elena Alekseevna**

doctor,  
Departmental hospital, RAILROAD station,  
(602264, 1 Pioneer street, Murom,  
Vladimirskaya reg., Russia)

**Аннотация.** Дано описание разработанного алгоритма выделения области рака молочной железы на фоне фиброзно-кистозной болезни, проведено сравнение с известными алгоритмами предварительной обработки маммограмм и разработанного авторами алгоритма, приведены результаты отдельных экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** маммограмма, рак, ФКМ, предварительная обработка, гистограммные преобразования, текстурная сегментация, бинаризация, выделение области новообразования, выделение контуров.

**Abstract.** The article contains description of the developed algorithm of allocation of the area of a cancer of a mammary gland at the background of fibrocystic disease, comparison with known algorithms of preliminary processing маммограмм and algorithm developed by the authors, the results of individual pilot studies.

**Key words:** mammogram, cancer, fibrocystic breast disease, pre-processing, histogram transformation, texture segmentation, binarization, the selection of tumors, edge enhancement.

## ОЦЕНКА УРОВНЯ НАВЫКОВ КУРСАНТОВ ЛЕТНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Б. Ж. Куатов

Уровень обученности операторов, приобретаемый ими во время тренировок (тренажей), зависит [1]: от начального уровня обученности  $K_0$ ; от доли навыков  $\delta K$ , приобретаемых за одну тренировку; от количества проведенных тренировок  $N$ :

$$K(N) = 1 - (1 - K_0)(1 - \delta K)^N. \quad (1)$$

Под уровнем обученности оператора принято понимать усредненную оценку выполнения им всех элементов конкретной задачи (учебного упражнения).

Кроме соотношения (1), в теории оценки деятельности человека в системах «человек – техника» наиболее часто используется следующее соотношение [2]:

$$K_\alpha(N) = 1 - (1 - K_0)\exp(-\alpha N), \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, характеризующий способность оператора к обучаемости.

Очевидно, что в соотношениях (1) и (2), как  $K_0$ , так и  $\delta K$ , и  $\alpha$  имеют одинаковый понятийный смысл, т.е.  $\delta K \equiv \alpha$ .

Подтвердить правильность соотношений (1) и (2) можно лишь при наличии экспериментальных данных по зависимости обученности операторов от числа занятий на штатной технике (ШТ). Однако такие данные в явном виде отсутствуют.

Известно, что качество  $k$  выполнения учебных упражнений оценивается по 4-балльной системе и определяется по среднему баллу  $k_{cp}$  из оценок их элементов: «отлично», если средний балл не менее 4.6; «хорошо», если средний балл не менее 3.6; «удовлетворительно», если средний балл не менее 3; «неудовлетворительно», если средний балл менее 3. Если средние балльные оценки качества выполнения учебных упражнений пронормировать по максимально возможному баллу («отлично»), то получим относительные оценки, соответствующие уровню обученности

$$K = k_{cp} / 5,$$

а именно: «отлично», если коэффициент качества не менее 0.92; «хорошо», если коэффициент качества не менее 0.72; «удовлетворительно», если коэффициент качества не менее 0.6; «неудовлетворительно», если коэффициент качества менее 0.6.

Для прогнозирования реальной эффективности выполнения учебно-боевых задач оценка коэффициентов качества подготовленности летного состава к применению летательных аппаратов (ЛА) и его систем может проводиться лишь по результирующим оценкам «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно», зарегистрированным в учетно-отчетной документации (зачетные книжки, ведомости и т.п.). Поэтому коэффициенты качества подготовленности курсантов имеют вероятностный характер и могут оказаться завышенными, что может привести к завышенным оценкам эффективности выполнения учебно-боевых задач. Для устранения негативных последствий в определении качества подготовленности курсантов предлагается ввести фиксированные вероятностные уровни обученности (табл. 1).

Таблица 1

Фиксированные вероятностные уровни обученности

$i$	Оценка качества обученности			Вероятностная оценка уровня обученности $\omega_i$	Максимальная ошибка уровня обученности $\Delta\omega_i$
	Результирующая	Промежуточная	Относительная		
1	неудов. (2)	$k_{cp} < 3$	$K < 0,6$	–	0,6
2	удовл. (3)	$k_{cp} > 3$	$0,6 \leq K < 0,72$	0,6	0,12
3	хорошо (4)	$k_{cp} > 3,6$	$0,72 \leq K < 0,92$	0,72	0,2
4	отлично (5)	$k_{cp} > 4,6$	$0,92 \leq K \leq 1$	0,92	0,08

Рассмотрим некоторые положения применительно к оценке вероятностных уровней подготовленности курсантов.

Курсант, приступивший к обучению, имеет определенный начальный уровень обученности  $\omega_0$ . Этот показатель можно трактовать так, что курсант выполнит то или иное упражнение, не приступая к обучению, как минимум с вероятностью  $\omega_0$ . Курсанты летных специальностей, как правило, обладают различной степенью восприятия практических навыков [3]. Однако существует такой минимально необходимый уровень восприятия, при котором курсант за отведенные нормы тренировок по применению ЛА достигает требуемого уровня.

Обозначим через  $\xi = \xi_{min}$  минимальную долю навыков, которые усваиваются курсантами за очередной тренаж на реальной технике от общего объема навыков. Тогда выражение (1) будет иметь вид

$$\omega(N) = 1 - (1 - \omega_0)(1 - \xi)^N. \quad (3)$$

Известно, что после прекращения отработки навыков (тренажей) со временем происходит их уменьшение, что можно представить в виде

$$\omega_t = \omega_k \cdot \exp(-0.23t), \quad t = 1, 2, \dots, m \text{ [годы]}, \quad (4)$$

где  $\omega_t$  и  $\omega_k$  – текущий и конечный уровни обученности.

Если в соотношении (4) за  $\omega_k$  принять начальный уровень подготовки, соответствующий уровню подготовки курсанта в начале учебного года  $\omega_{n0}$ , а за время  $t$  принять время, равное одному году, то получим

$$\omega_0 = \omega_{n0} \cdot \exp(-0.23). \quad (5)$$

Соотношение (5) показывает, насколько изменится вероятность того, что курсант выполнит ту или иную задачу, не приступая к обучению в течение года.

Из выражения (3) можно получить формулу для определения числа тренировок на реальной технике, проведение которых позволит достичь заданного уровня подготовленности  $\omega_d$ :

$$N = \frac{\ln(1 - \omega_d) - \ln(1 - \omega_0)}{\ln(1 - \xi)}. \quad (6)$$

Из формулы (6) вытекает, что при  $\omega_d \rightarrow 1, \Rightarrow, N \rightarrow \infty$ .

Действительно, если необходимо подготовить специалиста, то нужны постоянные, непрекращающиеся тренировки. Чем выше уровень навыков, тем медленнее происходит прирост их объема. Каждая новая единица навыков обходится дороже предыдущей.

Из анализа табл. 1 видно, что вероятностные оценки обученности определяются с ошибкой неопределенности и не позволяют достаточно точно определить динамику роста навыков от числа занятий и, следовательно, производить корректировку процесса обучения.

Например, по итогам выполнения тестового упражнения: перед началом обучения курсант получил «неудовлетворительно»; после 1...3 занятий оценка не изменилась; после 4 и 6 занятий

получил «удовлетворительно»; после 7...10 занятий получил «хорошо». На основании этого, согласно табл. 1 схема роста навыков  $\omega$  представлена на рис. 1.

При этом доля навыков  $\xi_0$ , которые усваиваются курсантами за очередной тренаж, от общего объема навыков, которые подлежат усвоению на данном и последующих занятиях, может быть определена по моменту перехода от предыдущего  $i-1$  к последующему  $i$ -му уровню обученности за  $\Delta n = n_i - n_{i-1}$  тренажей, а именно:

$$\xi_0 = 1 - \frac{\ln(1 - \omega_i) - \ln(1 - \omega_{i-1})}{n_i - n_{i-1}}. \quad (5)$$

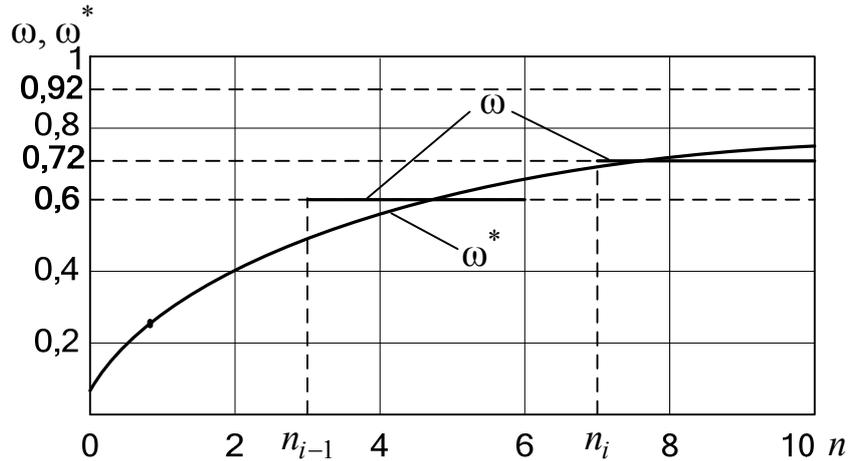


Рис. 1. Схема роста навыков

Если  $\xi_0 < \xi = \xi_{\min}$ , то, следовательно, необходимо производить корректировку процесса обучения курсанта.

Соотношение (5) позволяет произвести лишь приблизительную оценку  $\xi_0$ , так как для  $\omega_i$  и  $\omega_{i-1}$  характерны ошибки неопределенности  $\Delta\omega_i$  и  $\Delta\omega_{i-1}$  из-за конечности существующей балльной системы (так, например, для оценки «неудовлетворительно» соответствует уровень 0,6, хотя реально он может принимать значения от 0 до 0,6).

Таким образом, ввиду того, что в настоящее время качество подготовки курсантов оценивается по 4-балльной системе, то определение значений  $\omega_0$  и  $\xi$  остается проблематичным. Точность определения вероятностных оценок уровня обученности курсантов летных специальностей можно повысить, если пользоваться пятибалльной системой с использованием плюсов и минусов (12-балльная система) [1]. При этом вероятностная оценка уровня обученности может иметь следующий вид (табл. 2).

Таблица 2

Вероятностная оценка уровня обученности

i	Оценка качества обученности			Вероятностная оценка уровня обученности $\omega_i$	Максимальная ошибка уровня обученности $\Delta\omega_i$
	Результующая	Промежуточная	Относительная		
1	2	3	4	5	6
1	1	$k_{cp} < 1$	$K < 0,2$	–	0,2
2	2–	$k_{cp} \geq 1$	$0,2 \leq K < 0,34$	0,2	0,14
3	2	$k_{cp} \geq 1,7$	$0,34 \leq K < 0,4$	0,34	0,06
4	2+	$k_{cp} \geq 2$	$0,4 \leq K < 0,46$	0,4	0,06
5	3–	$k_{cp} \geq 2,3$	$0,46 \leq K < 0,54$	0,46	0,08

1	2	3	4	5	6
6	3	$k_{cp} \geq 2,7$	$0,54 \leq K < 0,6$	0,54	0,06
7	3+	$k_{cp} \geq 3$	$0,6 \leq K < 0,66$	0,6	0,06
8	4–	$k_{cp} \geq 3,3$	$0,66 \leq K < 0,74$	0,66	0,08
9	4	$k_{cp} \geq 3,7$	$0,74 \leq K < 0,8$	0,74	0,06
10	4+	$k_{cp} \geq 4$	$0,8 \leq K < 0,86$	0,8	0,06
11	5–	$k_{cp} \geq 4,3$	$0,86 \leq K < 0,94$	0,86	0,08
12	5	$k_{cp} \geq 4,7$	$0,94 \leq K \leq 1$	0,94	0,06

Из анализа табл. 2 следует, что 12-уровневая система оценки обученности позволяет определить уровень обученности в пределах от 0,2 до 1,0 с точностью, по сравнению с существующей 4-балльной системой, превышающей в 2,5 раза. Соответственно, предлагаемая балльная система оценки обученности курсантов позволяет в 2,5 раза точнее определить значения  $\omega_0$  и  $\xi$ .

Определив по 12-балльной системе значения  $\omega_0$  и по соотношению (5)  $\xi$ , можно оценить по выполнению условия  $\xi_0 < \xi = \xi_{\min}$  правильность процесса обучения курсанта и в случае необходимости скорректировать методику его подготовки (дифференциальный подход [4]) и количество тренировок, необходимых для достижения им заданного уровня.

#### Список литературы

1. Жуков, Г. П. Военно-экономический анализ и исследование операций / Г. П. Жуков, С. Ф. Викулов – М. : Воениздат, 1987 – 440с.
2. Шибанов, Г. Н. Количественная оценка деятельности человека в системе человек-техника / Г. Н. Шибанов. – М. : Машиностроение, 1983. – 263 с.
3. Корчемный, П. А. Психология летного обучения / П. А. Корчемный. – М. : Воениздат, 1986. – 136 с.
4. Пономаренко, В. А. Психология жизни и труда летчика / В. А. Пономаренко. – М. : Воениздат, 1992. – 224 с.

УДК 621.3.019

Куатов, Б. Ж.

Оценка уровня навыков курсантов летных специальностей / Б. Ж. Куатов // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 3 (7). – С. 94–97.

**Куатов Бауржан Жолдыбаевич**

заместитель начальника по учебной и научной работам,  
Военный институт Сил воздушной обороны  
Республики Казахстан им. Т. Я. Бегельдинова  
(463024, Казахстан, г. Актобе, пр. А. Молдагуловой, 16)  
8-713-270-37-82  
E-mail: kuatov.baurjan@mail.ru

**Аннотация.** Проведен анализ оценки уровня навыков курсантов летных специальностей. Рассмотрены некоторые положения применительно к оценке вероятностных уровней подготовленности курсантов. В работе предлагается применение оценки уровня обученности курсантов летных специальностей по пятибалльной системе с использованием плюсов и минусов (12-балльная система) для повышения точности определения летных навыков.

**Ключевые слова:** тренажерная подготовка, авиационные тренажеры, курсант, летательные аппараты.

**Kuatov Baurzhan Zholdybaevich**

deputy chief for academic and scientific works,  
Military Institute of Air Defense Forces  
of the Republic of Kazakhstan  
named after T. Ya. Begel'dinova  
(463024, 16 A. Moldagulova avenue, Aktobe, Kazakhstan)

**Abstract.** The analysis of skills level estimation of flying specialty cadets was carried out. This paper examines some statements concerning evaluation of cadets level readiness. The paper proposes the five-grade scale use of cadets level skills with the advantages and disadvantages (12-grade scale) to promote the accuracy of flying skills determination.

**Key words:** simulator training, flight simulators, cadet, aircraft.

### ***Вниманию авторов!***

Редакция научно-практического журнала «Надежность и качество сложных систем» приглашает специалистов опубликовать на его страницах оригинальные статьи, содержащие новые научные результаты в области информатики, вычислительной техники, управления, электроники, измерительной техники, радиотехники, машиностроения, машиноведения по следующей тематике:

Наименование раздела	Коды ГРНТИ
<b>ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОБЛЕМ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА</b>	28.27.00 Теория надежности. 28.27.15 Оптимизация надежности. 28.27.19 Количественные характеристики. 28.27.27 Методы оценки надежности
<b>НАДЕЖНОСТЬ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ</b>	28.27.23 Надежность эргатических систем
<b>ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ</b>	47.13.00 Технология и оборудование для электронного и радиотехнического производства. 47.13.17 Технология производства печатных плат. Печатный монтаж. 47.14.17 Проектирование и конструирование радиоэлектронной аппаратуры. 50.13.00 Технология и оборудование для производства средств автоматизации и вычислительной техники
<b>НАДЕЖНОСТЬ СЕТЕЙ СВЯЗИ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ</b>	49.33.35 Надежность сетей связи и защита информации
<b>НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОТКАЗНОСТЬ, ДОЛГОВЕЧНОСТЬ, РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ</b>	55.03.05 Надежность и долговечность машин. 59.03.13 Теория надежности и долговечности приборов. 81.81.07 Надежность. Безотказность, долговечность, ремонтпригодность
<b>ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ</b>	59.13.21 Технология и оборудование для испытания и контроля качества приборов. 59.45.71 Узлы, блоки, элементы, детали приборов неразрушающего контроля изделий и материалов
<b>ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И БОЕВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ</b>	78.21.53 Исследования и разработки в области эффективности, надежности и боевого использования вооружения и военной техники
<b>МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ</b>	81.81.05 Системы управления качеством. 81.81.17 Методы контроля качества. 81.81.19 Контроль качества на стадиях жизненного цикла продукции. 81.81.21 Контроль качества технологических процессов
<b>СЕРТИФИКАЦИЯ ПРОДУКЦИИ И СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА</b>	81.81.26 Сертификация продукции и систем обеспечения качества

Статьи, ранее опубликованные, а также принятые к опубликованию в других журналах, редколлегией не рассматриваются.

Редакция принимает к рассмотрению статьи, подготовленные с использованием текстового редактора Microsoft Word for Windows версий не выше 2003.

Необходимо представить статью в электронном виде (kipra@pnzgu.ru, дискета 3,5", CD-диск) и дополнительно на бумажном носителе в двух экземплярах.

Оптимальный объем рукописи – 10–14 страниц формата А4. Основной шрифт статьи – Times New Roman, 14 pt, через полуторный интервал. Тип файла в электронном виде – RTF.

Статья **обязательно** должна сопровождаться индексом УДК, аннотацией, содержащей 150–200 слов; 7–10 ключевыми словами, а также сведениями об авторах (фамилия, имя, отчество, место работы и должность, ученая степень, ученое звание, адрес, контактные телефоны, e-mail) **на русском и английском языках.**

Рисунки и таблицы должны быть размещены в тексте статьи и представлены в виде отдельных файлов (растровые рисунки в формате TIFF, BMP с разрешением 300 dpi, векторные рисунки в формате Corel Draw с минимальной толщиной линии 0,75 pt). Рисунки должны сопровождаться подрисуночными подписями.

Формулы в тексте статьи выполняются в редакторе формул Microsoft Word Equation, версии 3.0 и ниже. Символы греческого и русского алфавита должны быть набраны прямо, нежирно; латинского – курсивом, нежирно; обозначения векторов и матриц – прямо, жирно; цифры – прямо, нежирно. Наименования химических элементов набираются прямо, нежирно. Эти же требования **необходимо** соблюдать и в рисунках. Допускается вставка в текст специальных символов (с использованием шрифтов Symbol).

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается. Рукопись, полученная редакцией, не возвращается. Редакция оставляет за собой право проводить редакторскую и допечатную правку текстов статей, не изменяющую их основного смысла, без согласования с автором.

**Статьи, оформленные без соблюдения приведенных выше требований, к рассмотрению не принимаются.**

**Уважаемые читатели!**

Для гарантированного и своевременного получения журнала «Надежность и качество сложных систем» рекомендуем вам оформить подписку.

Стоимость одного номера журнала – 500 руб. 00 коп.

Для оформления подписки через редакцию необходимо заполнить и отправить заявку в редакцию журнала: факс (841-2) 36-84-87, тел.: 36-84-87, 56-47-33; E-mail: VolgaVuz@mail.ru

Подписку на первое полугодие 2015 г. можно также оформить по объединенному каталогу «Пресса России» «Газеты. Журналы», тематический раздел «Надежность и качество сложных систем». Подписной индекс – 43305.

Федеральное государственное унитарное предприятие "Почта России"										ФСП-1	
Бланк заказа периодических изданий											
<b>АБОНЕМЕНТ</b>										На газету журнал	
<b>Надежность и качество</b>										<b>43305</b>	
(наименование издания)										(индекс издания)	
<b>сложных систем</b>										Количество комплектов	
На 20 _____ год по месяцам											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Куда											
				(почтовый индекс)				(адрес)			
Кому _____											
----- Линия отреза -----											
ПВ			место			литер			ДОСТАВОЧНАЯ		
									<b>43305</b>		
									(индекс издания)		
На газету журнал			<b>Надежность и качество сложных систем</b>								
			(наименование издания)								
Стоимость	подписки			руб.			Количество комплектов				
	каталожная			руб.							
	переадресовки			руб.							
На 20 _____ год по месяцам											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
почтовый индекс			Город			село			область		
код улицы			Район			улица					
дом		корпус		квартира		Фамилия И.О.					