

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ
СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

СТНО-2019

II МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ

Сборник трудов

Том 6

Рязань
Book Jet
2019

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5
С 568

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2019 [текст]: сб. тр. II междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2019; Рязань. – 218 с.,: ил.

Сборник включает труды участников II Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2019.

В сборнике освещаются вопросы математического моделирования, новых технологий в радиотехнике, телекоммуникациях, электротехнике и радиоэлектронике, вопросы полупроводниковой наноэлектроники, приборостроения, лазерной, микроволновой техники, силовой промышленной электроники, новые технологии в измерительной технике и системах, биомедицинских системах, алгоритмическое и программное обеспечение вычислительной техники, вычислительных сетей и комплексов, вопросы систем автоматизированного проектирования, обработки изображений и управления в технических системах, перспективные технологии в машиностроительном и нефтехимическом производствах, новые технологии и методики в высшем образовании, в т.ч. вопросы гуманитарной и физико-математической подготовки студентов, обучения их иностранным языкам, перспективные технологии электронного обучения, в том числе, дистанционного, вопросы экономики, управления предприятиями и персоналом, менеджмента, а также вопросы гуманитарной сферы.

Авторская позиция и стилистические особенности сохранены.

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5

ISBN 978-5-7722-0301-9

© Рязанский государственный
радиотехнический университет, 2019
© Издательство «Book Jet»,
макет, 2019

ИНФОРМАЦИЯ О МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2019

II Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2019 состоялся 27.02.2019-01.03.2019 в г. Рязань в Рязанском государственном радиотехническом университете.

В рамках II Международного форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2019 состоялись четыре Международные научно-технические конференции:

«Современные технологии в науке и образовании. Радиотехника и электроника», секции

- Радиотехнические системы и устройства;
- Телекоммуникационные системы и устройства;
- Цифровые информационные технологии реального времени;
- Промышленная силовая электроника, электроэнергетика и электроснабжение;
- Физика полупроводников, микро- и нанoeлектроника;
- Микроволновая, оптическая и квантовая электроника;
- Современные методы обработки данных;
- Актуальные задачи химических технологий;

«Современные технологии в науке и образовании. Вычислительная техника и автоматизированные системы», секции

- Алгоритмическое и программное обеспечение вычислительных систем и сетей;
- ЭВМ и системы;
- Системы автоматизированного проектирования;
- Информационные системы и защита информации;
- Математические методы в научных исследованиях;
- Обработка изображений и управление в технических системах;
- Геоинформационные и космические технологии;
- Автоматизация производственно-технологических процессов в приборо- и машиностроении;

Информационно-измерительные устройства и системы в технике и медицине;

«Современные технологии в науке и образовании. Экономика и управление», секции;

- Проблемы рынка: экономика и управление;
- Актуальные проблемы государственного, муниципального и корпоративного

управления;

- Менеджмент и организация производства;
- Бухгалтерский учет, анализ и аудит;
- Управление персоналом;
- Экономическая безопасность;

«Современные технологии в науке и образовании. Новые технологии и методы в высшем образовании», секции

- Современные технологии электронного обучения;
- Иностранный язык в техническом вузе;
- Лингвистика и межкультурная коммуникация;
- Направления и формы гуманитаризации высшего образования;
- Методы преподавания и организация учебного процесса в вузе;
- Гуманитарная подготовка студентов;
- Физико-математическая подготовка студентов;
- Технологии обучения и воспитания на военной кафедре.

Организационный комитет Форума:

Чиркин М.В., и.о. ректора, д.ф.-м.н., проф. – председатель

Гусев С.И., проректор по научной работе, д.т.н., проф. – зам. председателя;

Бухенский К.В., проректор по учебной работе, к.ф.-м.н., доц. – зам. председателя;

Миловзоров О.В., зам. директора института магистратуры и аспирантуры, к.т.н, доц. – координатор;

Устинова Л.С., начальник отдела информационного обеспечения – отв. за информационную поддержку;

Трубицына С.Г., вед. инженер – секретарь оргкомитета;

Благодарова И.А., ведущий программист – секретарь оргкомитета;

члены оргкомитета:

Авилкина С.В., к.п.н., доцент кафедры «Государственное, муниципальное и корпоративное управление»;

Алпатов Б.А., д.т.н., профессор кафедры «Автоматика и информационные технологии в управлении»;

Бабаян П.В., к.т.н., доц., зав. кафедрой «Автоматика и информационные технологии в управлении»;

Витязев В.В., д.т.н., проф., зав. кафедрой «Телекоммуникации и основы радиотехники»;

Евдокимова Е.Н., д.э.н., проф., декан Инженерно-экономического факультета; зав. кафедрой «Экономика, менеджмент и организация производства»;

Еремеев В.В., д.т.н., проф., директор НИИ «Фотон»;

Ерзылева А.А., к.э.н., доцент кафедры «Экономика и финансовый менеджмент»;

Есенина Н.Е., к.п.н., доц., зав. кафедрой Иностранных языков;

Жулев В.И., д.т.н., проф., зав. кафедрой "Информационно-измерительная и биомедицинская техника";

Иваненко Р.В., полковник, начальник Военной кафедры;

Кириллов С.Н., д.т.н., проф., зав. кафедрой "Радиоуправление и связь";

Клейносова Н.П., к.п.н., доц., директор Центра дистанционного обучения;

Ключко В.К., д.т.н., профессор кафедры «Автоматика и информационные технологии в управлении»;

Коваленко В.В., к.т.н., доц., зав. кафедрой «Химическая технология»;

Корячко В.П., д.т.н., проф., зав. кафедрой «Системы автоматизированного проектирования вычислительных средств»;

Костров Б.В., д.т.н., проф., зав. кафедрой «Электронные вычислительные машины»;

Кошелев В.И., д.т.н., проф., зав. кафедрой «Радиотехнические системы»;

Круглов С.А., к.т.н., доц., зав. кафедрой «Промышленная электроника»;

Куприна О.Г., к.п.н., доцент кафедры Иностранных языков;

Лукьянова Г.С., к. ф.-м.н., доцент кафедры «Высшая математика»;

Мусолин А.К., д.т.н., проф., зав. кафедрой «Автоматизация информационных и технологических процессов»;

Овечкин Г.В., д.т.н., профессор кафедры «Вычислительная и прикладная математика»;

Паршин Ю.Н., д.т.н., проф., зав. кафедрой «Радиотехнические устройства»;

Перфильев С.В., д.э.н., проф., зав. кафедрой «Государственное, муниципальное и корпоративное управление»;

Пржегорлинский В.Н., к.т.н., доц., зав. кафедрой «Информационная безопасность»;

Пылькин А.Н., д.т.н., проф., декан факультета Вычислительной техники, зав. кафедрой «Вычислительная и прикладная математика»;

Рохлина Т.А., к.филол.н., доцент кафедры Иностранных языков;

Серебряков А.Е., к.т.н., зам. зав. кафедрой «Электронные приборы»;

Соколов А.С., д.и.н., зав. кафедрой «Истории, философии и права»;

Таганов А.И., д.т.н., проф., зав. кафедрой «Космические технологии»;

Холомина Т.А., д.ф.-м.н., проф., зав. кафедрой «Микро- и наноэлектроника»;

Чеглакова С.Г., д.э.н, проф., зав. кафедрой «Экономическая безопасность, анализ и учет».

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ»

СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ В ТЕХНИКЕ И МЕДИЦИНЕ»

УДК 612.766.1; ГРНТИ 76.13.25

СОВРЕМЕННЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФИЗИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ

М.С. Ашапкина*, А.В. Алпатов*, А.А. Чекушин**

* Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, mashaashapkina@gmail.com, alpatov-alexey@yandex.ru

** Рязанский государственный медицинский университет им. академика И.П. Павлова,
Россия, Рязань, rmi-62@rambler.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается задача разработки количественных метрик для автоматизированного распознавания типов упражнений в рамках системы удаленного контроля над процессом физической реабилитации. Целью работы является разработка метрик для оценки правильности выполнения физических упражнений, позволяющих получать количественные характеристики корректности следования протоколам выполнения восстановительных упражнений в целях повышения объективности и достоверности удаленного контроля. Предлагается использовать алгоритм деформации временной шкалы с дополнительными метриками, локализирующие свойства функции минимально пути деформации.

Ключевые слова: реабилитация, лечебная физкультура, коленный сустав, датчики движения смартфона, мобильные приложения, метрики дистанции, алгоритм деформации временной шкалы, траектория движений, форма сигнала.

MODERN MEDICAL TECHNOLOGIES OF PHYSICAL REHABILITATION

M.S. Ashapkina*, A.V. Alpatov*, A.A. Chekushin**

* Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, mashaashapkina@gmail.com, alpatov-alexey@yandex.ru

** Ryazan State Medical University,
Russia, Ryazan, rmi-62@rambler.ru

Abstract. The present paper has considered a task to develop quantitative metrics for automatic recognition of exercise types in the framework of the system for remote monitoring of the physical rehabilitation process. The paper aim is to develop metrics for estimation of physical exercise performance accuracy which allow obtaining quantitative characteristics of the treatment protocol fulfillment accuracy during rehabilitation exercise performance in order to increase objectivity and reliability of the remote control. The paper has suggested to use the algorithm of time scale warping with additional metrics localizing function properties to the minimum warping path.

Keywords. rehabilitation, exercise therapy, knee joint, motion sensors smartphone, mobile application, distance metrics, algorithm of time scale warping, motion path, waveform.

Технологии мобильной связи в повседневную жизнь сделало возможным перенос функционала компьютерных систем с рабочего стола в карман пациента. Современный смартфон – это высокопроизводительный компьютер, оборудованный множеством различных датчиков, видеокамерой реального времени, оснащенный скоростным каналом доступа к ресурсам сети интернет. Такие возможности смартфонов привели к бурному развитию мобильного программного обеспечения, значительно расширяющего его базовый функции, как средства связи. Одним из актуальным направлений стали медицинские приложения и

технологии, такие как «docdoc», «Doc+», «Яндекс.Здоровье», «Педиатр24/7». Это российские медицинские компании, оказывающие услуги по поиску врачей и вызова их на дом, хранения и обработки персональных медицинских данных. Интернет-сервиса дают возможность получения консультации квалифицированного врача вне зависимости от месторасположения. Общение с врачом происходит в чате или по видеосвязи, по результатам консультации предоставляется отчёт.

Дистанционное наблюдение за состоянием здоровья пациента очень актуально в области реабилитации. При осуществлении реабилитации пациента с заболеваниями и травмами коленного сустава важную роль играет лечебная физкультура в комплексном лечении коленного сустава [1].

Регулярные физические нагрузки способствуют укреплению мышц и костей опорно-двигательного аппарата, в частности улучшению метаболической регуляции хрящевой ткани, облегчая движение синовиальной жидкости внутрь хрящевого матрикса [2]. Лечебная физкультура помогают бороться с нарушением периферического кровообращения и атрофией мышц, позволяют купировать болевой синдром [3].

Реабилитационные услуги по лечебной физкультуре есть не во всех поликлиниках и, как правило, предоставляются частными организациями, которые не в состоянии обеспечить всех пациентов, к тому же для большинства населения лечение имеет слишком высокую стоимость.

Реабилитация – длительный процесс. В большинстве случаев пациенты лечатся амбулаторно и остаются без прямого контакта с врачом. Вне стен клиники врач не может полностью контролировать процесс восстановления пациента, поэтому снижается эффективность всей реабилитации. Из-за этого лечение не может принести к ожидаемому результату [4].

При самостоятельных занятиях лечебной физкультурой пациент должен адекватно оценивать возможности своего организма, соблюдать технику выполнения упражнений и своевременно консультироваться со специалистом.

Учитывая большое количество клиентов, нуждающихся в реабилитации при травмах и заболеваниях не только коленного сустава, но и при патологии других локализаций, можно сделать вывод о том, что необходима такая система реабилитации, которая способна охватить до нескольких тысяч пациентов различного профиля [5]. Кроме того, удалённость пациента от центров реабилитации приносит дополнительные трудности на амбулаторном этапе лечения.

В таких условиях необходима простая и эффективная поддержка пациента на амбулаторном этапе. Существуют технологии, реализующие такой механизм, – это телемедицина [6]. В 2017 году органами государственной власти в рамках Федерального закона от 29 июля 2017 г. N 242-ФЗ было введено понятие телемедицинских технологий как вида информационных технологий, обеспечивающих дистанционное взаимодействие медицинских работников между собой, с пациентами их представителями с возможностью дистанционного медицинского наблюдения за состоянием здоровья пациента. С точки зрения мобильных систем у пациента появилась возможность использовать смартфон как устройство мониторинга за своим состоянием, путем анализа первичных данные о здоровье, собираемых с помощью датчиков и удаленного взаимодействия с врачом и клиникой. При этом необходимо соблюдения процедуры идентификации, очного приема [4].

Современный подход к реализации телемедицинских систем в области амбулаторной физической реабилитации требует применение доступных технических средств объективного контроля над процессом восстановления пациента. Лечебная физкультура (ЛФК) занимает особую роль в лечении и профилактике таких заболеваний. Полноценная ЛФК не возможна

без специальных технических средств-тренажеров, обеспечивающих дозирование нагрузки и контроль двигательной траектории сустава при выполнении упражнений [7]. При этом актуальной становится задача широко внедрения “умных” технологий поддержки ЛФК, позволяющих проводить занятия вне стен клиники в режиме удаленного контроля двигательной активности. В этой связи актуальность разработки количественных метрик для автоматизированного распознавания правильности выполнения двигательных траекторий, обоснована потребностью в расширении доступности физической реабилитации, повышении ее эффективности, необходимостью дозирования нагрузки.

Решением проблемы мониторинга лечебной физкультуры в условиях отсутствия прямого контакта доктора и пациента возможно путем разработки системы, состоящей из мобильного приложения для анализа движений человека и веб-сервиса с целью удаленного мониторинга. Мобильное приложение будет регистрировать данные о движении человека с помощью встроенных датчиков движения смартфона и передавать результат на веб-сервер, откуда те поступят в личный кабинет врача-консультанта.

Объединение принципов взаимодействия лечебной физкультуры и телемедицины показано на рис. 1.

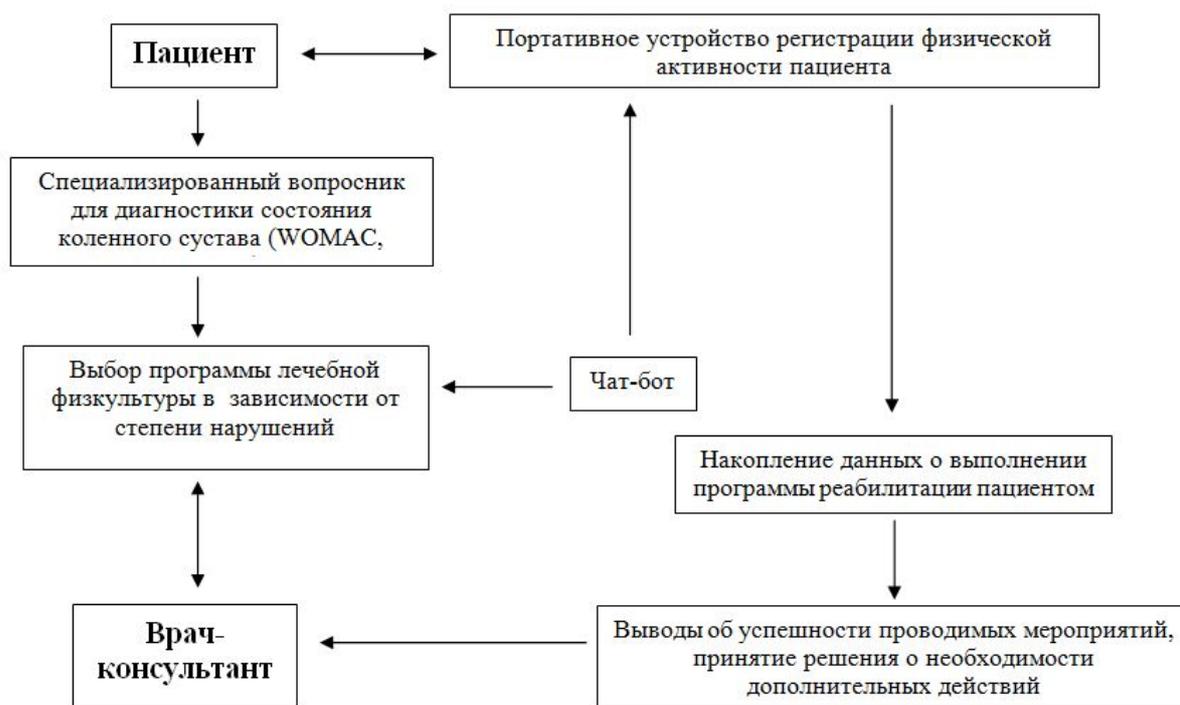


Рис. 1. Схема удаленного взаимодействия врача и пациента на амбулаторном этапе реабилитации

Данная схема взаимодействия реализует один из таких принципов реабилитации и механотерапии как обратная связь [8], где пациент может оценить эффект проводимых мероприятий с помощью вопросников, а врач может увидеть зарегистрированную физическую активность и результаты тестов, а также вопросы пациента offline.

Данный проект был поддержан программой «СТАРТ» в рамках Фонда содействия инновациям. Проект называется “НеФитнес со смартфоном”, подчеркивая неспортивный характер применения для широкого круга пользователей. В результате создано мобильное приложение с большим выбором упражнений для различных суставов с индивидуальной

программой для подбора комплекса тренировок. Мобильное приложение в режиме реального времени контролирует правильность и регулярность выполнения назначенных упражнений с помощью встроенных датчиков движения смартфона.

Датчиков движения – акселерометр и гироскоп уже давно являются основной штатной функцией любого современного смартфона. Информация с датчиков смартфона доступны для программиста iOS через библиотеку Core Motion. Эта библиотека предназначена для организации работы со встроенным гироскопом и акселерометром. С целью контроля правильности выполнения лечебной физкультуры смартфон необходимо закрепить в определенной точке с помощью специальной манжеты. Для коленного сустава точкой крепления будет щиколотка. Посмотрев видео-инструкцию в мобильном приложении, пациент фиксирует телефон на щиколотке и делает упражнения, слушая голосовые команды. По результатам выполнения лечебной физкультуры смартфон выдает оценку по трем параметрам.

Мобильное приложение – базовый независимый компонент, который может работать автономно, что дает максимальную доступность для пользователя и упрощает его использование. Остальные компоненты (гаджет и личный кабинет) расширяют сервис. Легкость крепления гаджета на требуемом суставе позволит повысить удобство и точность измерения. Через онлайн-кабинет врач дистанционно отследит график выполнения упражнений и динамику процесса восстановления пациента, что поможет создать полную картину реабилитации [9].

Для тестового реабилитационного упражнения “Разгибания голени” была сформирована модельная траектория Q соответствующая идеальному выполнению по трем осям. Упражнение было записано на видео и синхронизировано по времени с модельной траекторией. Алгоритм расчета разработанных метрик был реализованы в составе прототипа мобильного приложения. Экранные формы прототипа приложения показаны на рисунке 2.

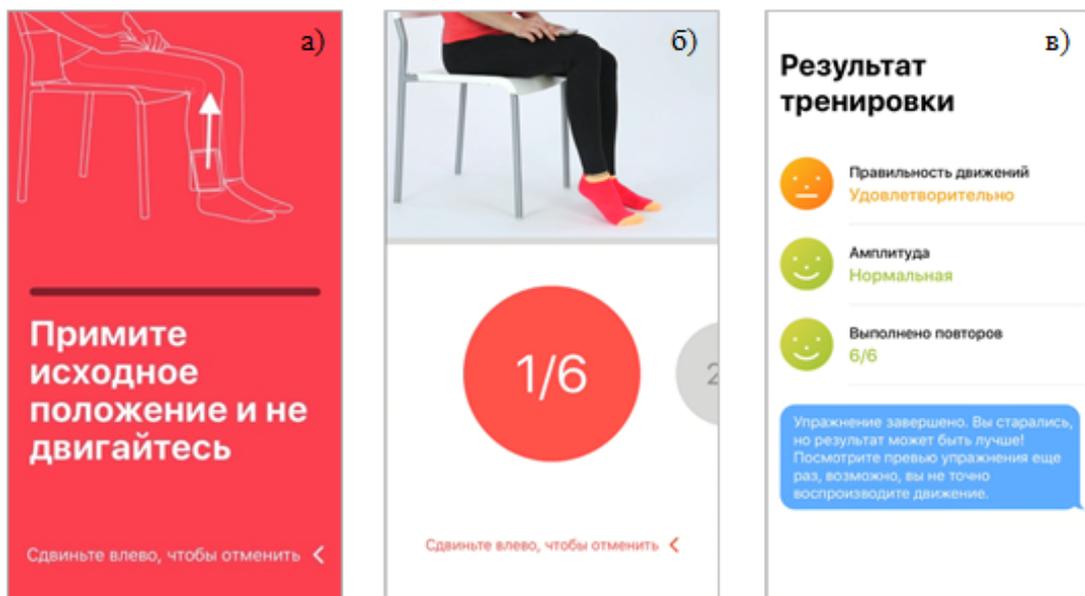


Рис. 2. Экранные формы прототипа мобильного приложения:
 а – форма в режиме принятия исходного положения,
 б- форма в режиме выполнения упражнения,
 в- форма выводов результатов в пациенто-ориентированном виде

Упражнения записаны в виде роликов, синхронизированных с модельными упражнениями. Анализ параметров выполнения упражнений идёт в реальном времени в процессе воспроизведения ролика. Модельная траектория была получена путем многократного усреднения по данным экспертного выполнения врачом ЛФК и сверены по кинематической модели. Во время эксперимента были выполнены 6 повторов каждого упражнения в 3 режимах: правильное выполнение согласно протоколу упражнения, неправильное выполнение-испытуемый совершал случайные взмахи голенью в разных направлениях, выполнение упражнения с задержкой, но корректное завершение [10].

Для успешной реабилитации суставов и контроля восстановления их активности важно выполнять локальные движения – сгибание и разгибания суставов под определенным углом и по правильной траектории. В данной работе для регистрации траектории движений конечностей использовались MEMS датчики смартфона, закрепленного на щиколотке с помощью чехла.

В ходе тестирования испытуемый выполнял упражнение для коленного сустава. Полученные данные о траектории движения щиколотки сравнивали с эталонной траекторией, с последующим анализом степени схожести траекторий с эталоном, оценки разности амплитуд, синхронности выполнения и фиксации факта повтора итерации упражнения. Результаты показали техническую возможность распознавания отклонений траекторий от эталона в случае неправильного выполнения упражнений.

Данная технология дает возможность пациенту самостоятельно определять степень правильности выполнения упражнения, что особенно важно для амбулаторной реабилитации без контроля лечащего врача.

Библиографический список

1. Минасов Т.Б., Филатова Л.Р., Минасов И.Б. Комплексная реабилитация после повреждений коленного сустава / Т.Б. Минасов, Л.Р. Филатова, И.Б. Минасов // Гений ортопедии. – 2010. – №4. – 29-31.
2. Рябчиков И.В., Панков И.О., Рябчикова Е.Н. Пассивная механотерапия в реабилитации пациентов с повреждениями крупных суставов нижних конечностей / И.В. Рябчиков, И.О. Панков, Е.Н. Рябчикова // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2011. - №4 (80), ч.1. – С.168-171.
3. Епифанов В.А. Лечебная физкультура: Учебное пособие / В.А. Епифанов. – М: Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа».2006. – 568 с.
4. Федосеев А.В., Алпатов А.В., Ашапкина М.С., Чекушин А.А. Рекомендации по выполнению упражнений для суставов под контролем смартфона в режиме удалённого доступа // Материалы III Международного Конгресса «Физиотерапия. Лечебная физкультура. Реабилитация. Спортивная медицина». 2017. С.129.
5. Чекушин А.А., Федосеев А.В., Бердиев Р.М., Ашапкина М.С. Возможности оценки физической активности травматолого–ортопедических пациентов в условиях реабилитации // Сборник тезисов Международной конференции «Травма 2017: мультидисциплинарный подход» – Москва: Издательско-полиграфический центр «Научная книга» – 2017. С. 139-140.
6. Зайцева Н.А., Ширяева А.С. Телемедицина в современной системе здравоохранения / Н.А. Зайцева, А.С. Ширяева // Инновационная медицина России в начале XXI столетия. – Bulletin of Medical Internet Conferences. – 2016. – Volume 6, Issue 1. – P. 58.
7. Загrevский В Н., Загrevский О.И. Биомеханика физических упражнений: учеб. пособие. Томск, 2007. 274 с.
8. Гиниятуллин Н.И., Гильманшина И.Р., Сулейманова В.А. Механотерапия: состояние и тенденции развития / Н.И. Гиниятуллин, И.Р. Гильманшина, В.А. Сулейманова // Медицинский вестник Башкортостана. – 2014. – Т.9, №5. – С. 164-169.
9. НеФитнес [Электронный ресурс] URL: <https://vk.com/nefitnes> (дата обращения 14.02.2019).
10. Ашапкина М.С., Алпатов А.В., Чекушин А.А. Система поддержки выполнения реабилитационных упражнений для коленного сустава на базе смартфона // Международный научно-прикладной журнал «Биомедицинская радиоэлектроника». Вып. 8. Москва: Изд-во «Радиотехника», 2018. С. 45-53.

УДК 57.089.22 ГРНТИ 34.57.15

РАЗРАБОТКА ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ МИКРОИССЛЕДОВАНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ КОМПРЕССИИ ИМПУЛЬСОВ

Д.Г. Филон

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, г. Рязань, fillzz786@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматриваются методы компрессии лазерного излучения. Приводятся их основные особенности, достоинства и недостатки, а также возможности их реализации и применения при разработке лазерной системы.

Ключевые слова: chirp-компрессия, метод Доплера, микропучок, нелинейная среда

DEVELOPMENT OF A LASER SYSTEM FOR BIOLOGICAL MICROSCOPIC STUDIES BASED ON PULSE COMPRESSION METHODS

D.G. Filon

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, fillzz786@gmail.com*

Annotation. The paper discusses the methods of compression of laser radiation. Their main features, advantages and disadvantages, as well as the possibilities of their implementation and application in the development of a laser system are given.

Keywords: chirp-compression, Doppler method, micro beam, nonlinear medium.

Лазер- это устройство предназначенное для создания узкого,интенсивного пучка света. Создание первых моделей лазеров началось ещё с 60ых годов прошлого века и за это время успело претерпеть множество нововведений и улучшений. Основная цель которую преследуют при разработке новой модели: сокращение импульса излучения без потери мощности, работа в различном диапазоне мощностей и сохранение компактности устройства. Методы компрессии лазерного излучения являются решением задач, связанных с корректировкой и сокращением импульса. Компрессия применительно к лазерной технике - это эффект сжатия импульсов излучения [1]. Существующие на практике методы компрессии позволяют получать длительности импульсов порядка фемтосекунд, путём сжатия исходного импульса лазерного генератора, имеющий длительность порядка наносекунд или пикосекунд. Кроме того, с помощью методов компрессии, возможно существенно повысить мощность и интенсивность излучения, так как по закону сохранения вся энергия импульса распределённая в широком интервале времени, после сжатия концентрируется в коротком временном интервале.

Ультракороткие лазерные импульсы с широким диапазоном мощностей полученные с помощью таких методов применяются для многих целей, таких как: прецизионная обработка материалов, хирургические операции, создание нелинейных эффектов для новых исследований в области лазерного излучения. Отличительной чертой такого вида излучения, является высокая мощность в пике при малой длительности и умеренной средней мощности, которая позволяет воздействовать на материалы и ткани локально, то есть производить испарение (абляцию), не вызывая перепада температур и изменения структуры прилегающих слоёв [2]. Характерным примером является хирургическая операция на глаза, где повышение температуры тканей на несколько градусов может вызвать отмирание тканей и свёртывание белков.

Суть методов состоит в пропускании лазерных импульсов через линию задержки, которая задерживает передний фронт импульса сильнее, чем задний. В результате, по мере движения через линию задержки, задний фронт постепенно догоняет передний, тем самым сокращая длительность импульса. Метод компрессии импульсов, который может быть

технически реализован в современных лазерных системах, называется чирп-компрессия. Исходный импульс чирпируют путём пропускания через нелинейную среду с высокой степенью нелинейности, а затем приступают к компрессии в среде с аномальной дисперсией (рис. 1).

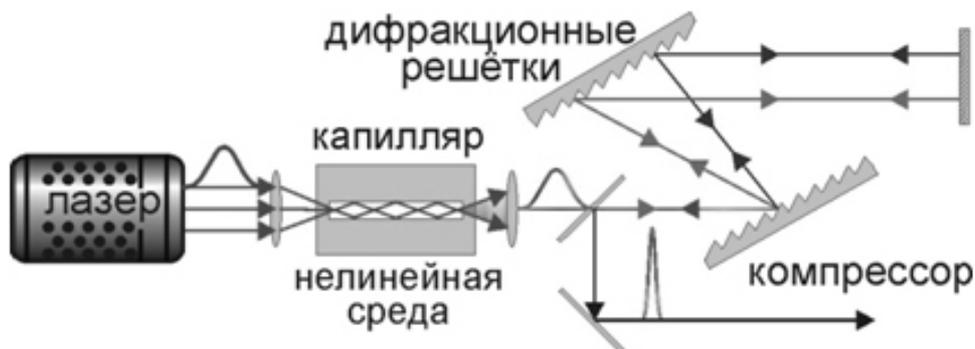


Рис.1. Схема чирп компрессора

В качестве нелинейной среды используется оптическое волокно, в котором за счёт повышенной интенсивности и полного внутреннего отражения от границ сердцевины и оболочки, свет нелинейно взаимодействует с веществом. Далее лазерный пучок попадает в компрессор. В нём должна быть создана среда с аномальной дисперсией, которая в самом простом исполнении может быть создана из обыкновенных дифракционных решёток. Такая решётка подобно призме разлагает свет на лучи разных цветов за счёт нанесённых параллельных штрихов с интервалами порядка микрон. Полученные лазерные лучи можно заставить пройти разное расстояние, путём подбора углов и расстояния между решётками, а затем заново собрать в параллельный пучок с помощью дифракционной решётки и отразить в единый пучок с помощью глухого зеркала. Но данный метод имеет и существенное ограничение в виде ширины спектра $\Delta\omega$ и периода светового поля T , который не может быть короче нескольких фемтосекунд.

Для решения этой проблемы существуют методы, которые в теории позволяют достичь длины импульса порядка аттосекунд, это метод Доплер компрессии и метод инерционной компрессии. Они мало исследованы и сложны в реализации, однако при достижении спектрального предела, без компрессии с помощью уменьшения длины волны и увеличения частоты несущей не обойтись.

Основное ограничение по сокращению импульсов связано с тем, что импульс не может стать короче периода светового поля, поэтому необходимо сокращать длину огибающей импульса Δt при параллельном сокращении периода несущей T . Сокращение импульса как целого возможно осуществить по эффекту Доплера [3]. Сжатие импульса при помощи метода Доплера происходит также за счёт применения линий задержки как и в методе чирп-компрессии, но имеет существенный плюс, так как нет спектральных ограничений на возможную длительность импульса. Однако для его реализации требуются громоздкие ускорительные установки для разгона электронов до релятивистских и ультрарелятивистских скоростей. Но возможен вариант реализации этого метода с более медленными электронами, если использовать многократное отражение (рис.2).

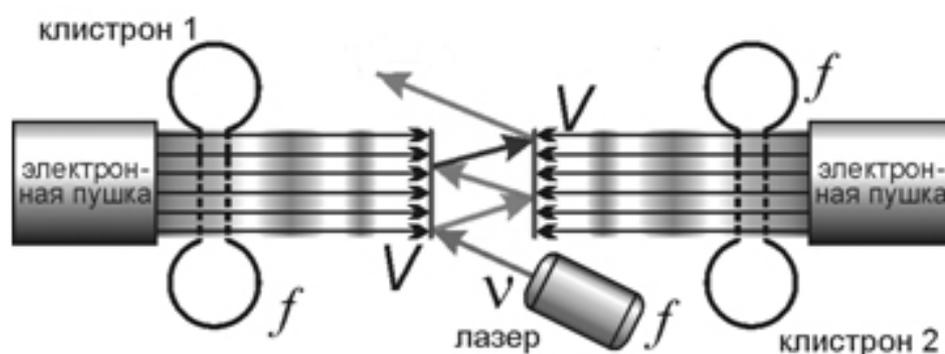


Рис. 2. Схема Доплер компрессора

В качестве источников электронов можно использовать электронные пушки, которые испускают потоки электронов навстречу друг другу и при фазовой фокусировке образуют “электронные зеркала”. В результате отражений от таких “зеркал”, можно существенно сократить длину импульса. Важную роль этого метода играет форма “электронных зеркал”, поскольку на умеренных скоростях электроны не могут образовать плотную и гладкую поверхность. Для этих целей на выходе из электронных пушек используются клистроны, которые фокусируют по фазе плотности потоков электронов. Также клистроны необходимы для синхронизации прихода в одну точку потока электронов и лазерных импульсов.

Метод инерционной компрессии импульсов с помощью ускорения - это ещё менее разработанный метод, но более перспективный, так как нет необходимости разгонять частицы до околосветовых скоростей для сокращения длительности импульса и увеличения частоты несущей. Основную роль данного метода играет ускорение частиц, а не их. Существенным отличием от эффекта Доплера является отсутствие необходимости в синхронизации моментов ускорения частиц с моментами прихода к ним, так как синхронизация происходит автоматически: частицы движутся ускоренно, пока на них действует давление света. Суть инерционной компрессии состоит в воздействии лазерным излучением на свободные электроны, которые должны переизлучать свет на той же частоте за счёт томсоновского рассеяния [4]. При этом, если заставить электроны двигаться с ускорением, можно значительно изменить длительность импульса и частоту несущей. Недостатком такого метода является то, что в импульсе от изменения интенсивности излучения во времени меняется ускорение атомов, из-за чего разные части импульса сжимаются по-разному. На практике, метод не был исследован, поскольку необходим инерционный преобразователь частоты и компрессор импульсов, созданные на основе генератора аттосекундных импульсов.

Разработка средства формирования лазерного микропучка предполагает внесение ряда улучшений в уже существующие устройства, а именно применение компрессирующих систем на выходе из оптического квантового генератора. Пока компрессоры лазерных импульсов существуют в основном в виде лабораторных прототипов, или в виде отдельных узлов лазерных установок. Однако изготовление их в виде отдельных устройств, которые способны сжимать любые лазерные импульсы, с произвольными характеристиками, до любой необходимой величины, является перспективным направлением. Приведённые выше методы, позволяют значительно повысить характеристики лазерных импульсов, такие как: мощность, интенсивность, позволяют сократить его длительность и увеличить частоту несущей. Выбор того или иного метода зависит только от типа лазера и принадлежности к его дальнейшему использованию.

Для целей микробиологии и медицины, нет необходимости в колоссальных

мощностях излучения, поэтому рациональным решением является разработка лазерной системы с применением методов чирп компрессии или упрощенной установки на методе Доплер компрессии.

Библиографический список

1. П. Г. Крюков, “Лазеры ультракоротких импульсов”, Квантовая электроника, 31:2 (2001), 95–119 [Quantum Electron., 31:2 (2001), 95–119].
2. Яшунин Д.А, Мальков Ю.А, Бодров С.Б. Фемтосекундная оптика: учебно-методическое пособие.- Нижний Новгород, 2014.
3. Семиков С.А. МЕТОДЫ КОМПРЕССИИ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ: учебно-методический материал. – Нижний Новгород, 2011.
4. Рахманов С.А., Выслоух В.А., Чиркин А.С. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. – Наука, 1988. – Т. 74.

УДК 616-71; ГРНТИ 76.13.25

НЕПРЕРЫВНЫЙ КОНТРОЛЬ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ В МАГНИТОТЕРАПИИ БЕЗМАНЖЕТНЫМ МЕТОДОМ

Н.А. Якименко, А.В. Шуляков, С.Г. Гуржин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, nadia.yakimenko@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается реализация системы непрерывного контроля артериального давления, на основе безманжетного метода, которая интегрируется в комплекс хрономагнитотерапии «Мультимаг». Приводится описание структурных элементов системы, принципов ее работы, особенностей процесса измерения и отмечаются основные достоинства.

Ключевые слова: неинвазивные безманжетные измерения, фотоплетизмограмма, пульсовая волна, взаимная корреляция, непрерывный контроль, артериальное давление.

CONTINUOUS CONTROL OF ARTERIAL PRESSURE IN MAGNETOTHERAPY BY IMMANETARY METHOD

N.A. Yakimenko, A.V. Shulyakov, S.G. Gurzhin

*Ryazan State University of Radio Engineering,
Russian Federation, Ryazan, nadia.yakimenko@yandex.ru*

The summary. The paper discusses the implementation of a continuous blood pressure monitoring system, based on a no-cuff method that integrates into the «Multimag» chronomagnotherapy complex. A description of the structural elements of the system, the principles of its work, the features of the measurement process and the main advantages are noted.

Keywords: non-invasive non-magnetic measurements, photoplethysmogram, pulse wave, cross-correlation, continuous monitoring, blood pressure.

Одним из главных показателей физиологического состояния человека является артериальное давление (АД). Измерение АД совместно с пульсом в медицинской практике служит быстрым и надежным методом выявления первых признаков нарушений в организме. Поэтому при проведении сеансов магнитотерапии предлагается непрерывно контролировать АД пациента путем регистрации пульсовой волны в разных местах тела в реальном масштабе времени, нахождении скорости распространения пульсовой волны на заданном расстоянии и определении текущих значений систолического и диастолического давлений. Мониторинг АД во время процедуры лечения позволит оперативно обнаруживать реакции организма на заданные биотропные параметры магнитного воздействия, своевременно корректировать воздействие и делать лечение более эффективным.

Для реализации предлагаемого метода измерения АД используются стандартные

аппаратные средства в виде двух фотометрических датчиков APDS-9008, модуля сбора данных NIUSB-6008, интерфейса USB и персонального компьютера (ПК) комплекса «Мультимаг», которые представлены структурной схемой в статье [1]. Оригинальной частью разработки являются программные средства в виде виртуальных приборов (ВП), созданных в среде графического программирования LabVIEW.

На время сеанса магнитотерапии рекомендуется крепление датчиков на левой руке пациента, один на уровне сердца (предплечья), а другой на запястье руки.

Аналоговые сигналы с датчиков дискретизируются и квантуются в модуле сбора данных аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и далее в виде цифровых отсчетов поступают в ПК. Выбор частоты дискретизации и разрешающей способности АЦП обеспечивают требуемую точность воспроизведения сигналов. На рисунке 1 представлена передняя панель созданного ВП – регистратора фотоплетизмограмм, на которой изображены реальные сигналы пульсовой волны с двух датчиков, размещенных на руке в указанных местах.

Как видно, сигналы имеют случайную шумовую составляющую, которая может исказить результаты измерений. Поэтому предполагается на следующем этапе применить цифровую обработку сигналов, снижающую уровень шумов до приемлемых значений.

Для нахождения скорости распространения пульсовой волны необходимо производить непрерывные многократные измерения временных интервалов между сигналами датчиков на их отдельных периодах.

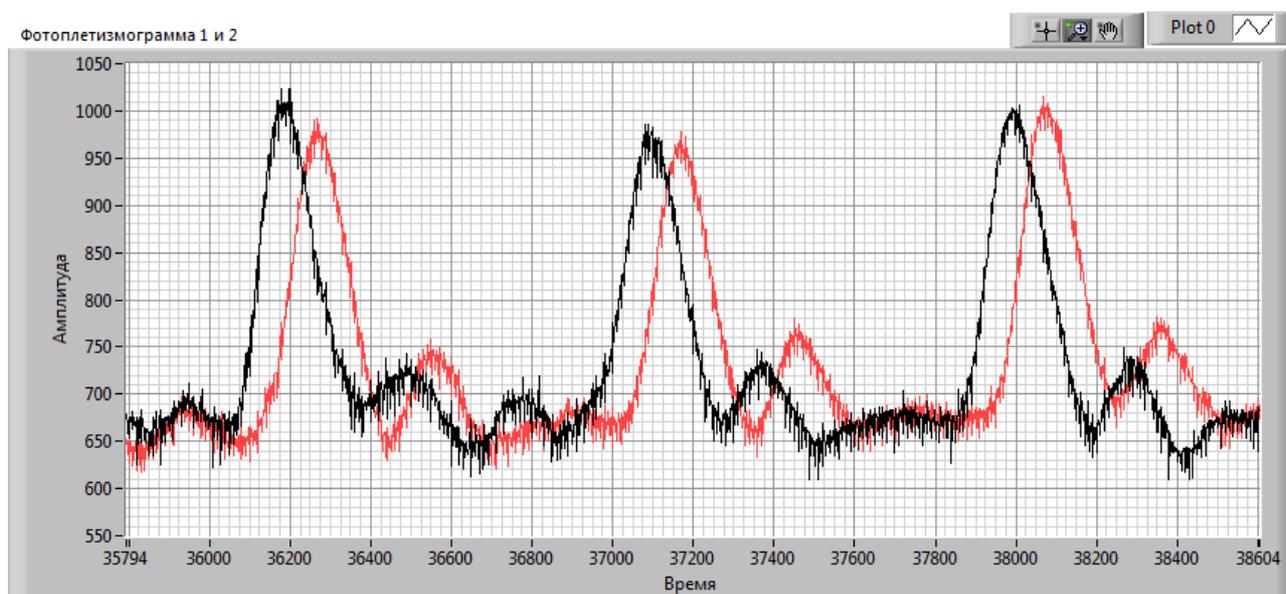


Рис. 1. Сигналы с датчиков APDS-9008, зарегистрированные ВП

Измерение временных параметров и фазовых задержек сигналов может осуществляться разными методами, но главное, чтобы они отвечали требованиям высокой помехоустойчивости определения временного положения характерных моментов сигналов. Анализ известных методов позволил выделить два из них по своим фильтрующим свойствам:

Интегрирующего преобразования сигналов до момента сравнения с заданным уровнем их обнаружения и последующим измерением разности временных положений [2];

Корреляционного преобразования сигналов (метод кросс-корреляции) с определением максимума взаимной корреляционной функции (ВКФ) и измерением его временного положения [3].

На следующем этапе планируется разработка ВП – измеритель скорости пульсовой волны (СПВ). Он будет выполнять функции фильтрации полезных сигналов, определения временного положения характерных моментов сигналов или преобразующей функции, измерения временного сдвига пульсовых волн и вычисления СПВ.

Предлагается в первую очередь использовать метод кросс – корреляции, т.к. он позволяет совместить ряд необходимых функций для периодических сигналов конечной длины, т.е. реализаций сигналов, представленных в течение одного или нескольких периодов.

$$C_{p_1 p_2}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T p_1(t) p_2(t + \tau) dt, \quad (1)$$

где $C_{p_1 p_2}(\tau)$ – взаимная корреляционная функция; T – период сигналов; $p_1(t)$ – реализация сигнала с датчика, расположенного на руке на уровне сердца; $p_2(t)$ – реализация сигнала с датчика, расположенного на запястье или пальце; τ – временной сдвиг сигнала $p_2(t)$ относительно сигнала $p_1(t)$.

Реализация метода по выражению (1) в ВП осуществляется в дискретном виде

$$C_{p_1 p_2}(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-m-1} p_1(n) p_2(n + m).$$

Временное положение наибольшего значения корреляции $C_{p_1 p_2}(m) = \max$ будет соответствовать искомому временному сдвигу $\tau \rightarrow m$ одной последовательности отсчетов $p_2(n)$ относительно другой $p_1(n)$.

Таким образом, измерив с высокой точностью τ , можно многократно определять скорость распространения пульсовой волны V на заданном расстоянии D между датчиками в течение всего сеанса магнитотерапии

$$V = \frac{D}{\tau}.$$

Поскольку регистрируемые сигналы с датчиков (фотоплетизмограммы) сдвинуты относительно друг друга, имеют точки глобальных максимумов и минимумов, то для оценки АД необходимо нахождение двух временных интервалов между максимумами τ_c и минимумами τ_d , которые в общем случае разные по значению. Величина τ_c соответствует систолической составляющей АД, величина τ_d соответствует диастолической составляющей АД (рис. 2).

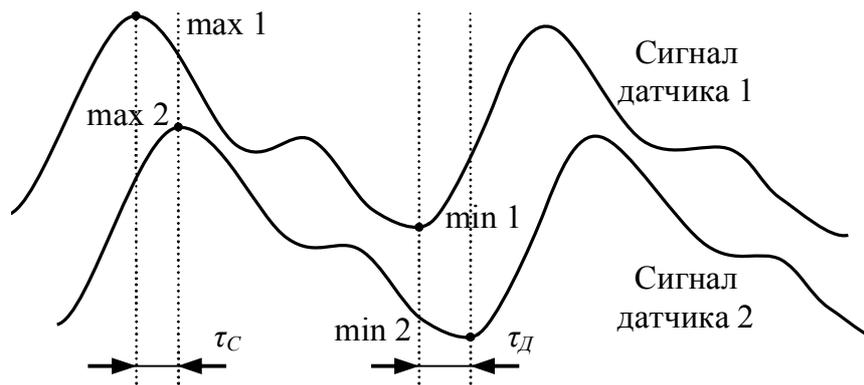


Рис. 2. Временной сдвиг пульсовых волн

Функциональная связь между скоростью распространения пульсовой волны и АД в артериальном русле определяется известным уравнением Moens-Kortweg-Hughes[4]:

$$V = \sqrt{\frac{tE_0}{\rho d} e^{\lambda P}} = \frac{D}{\tau},$$

где V – скорость пульсовой волны;

t – толщина стенок сосуда;

E_0 – модуль нулевого давления стенки сосуда;

ρ – плотность крови;

d – диаметр сосуда;

λ – модуль эластичности сосуда;

P – кровяное давление внутри сосуда;

D – расстояние, между точками съема пульсовых волн;

τ – время задержки пульсовой волны во второй точке съема относительно первой.

Приведенное выражение включает в себя много параметров, которые являются индивидуальными для каждого человека.

Недостатком данной зависимости является то, что в случае сильного колебания давления у пациента будет возникать большая погрешность.

Для снижения погрешности желательно выразить соотношение между кровяным давлением и временем между сигналами в двух точках съема нелинейной функцией. Предпочтительнее всего, чтобы нелинейная функция монотонно убывала с увеличением времени, была выпуклой и задавалась с помощью пары параметров, которые коррелируют между собой для облегчения калибровки.

Оценку АД предлагается производить исходя из выражения:

$$P = a + b \ln(\tau),$$

где P – кровяное давление;

τ – время, прошедшее между зарегистрированным сигналом с первого датчика и сигналом со второго датчика;

a и b – пара параметров, которые определяются для каждого отдельного пациента, выполняя калибровку.

Реализация алгоритма вычисления АД будет осуществляться ВП –вычислитель

артериального давления.

Процесс калибровки осуществляется путем проведения разового измерения давления пациента манжетным методом перед сеансом магнитотерапии. Затем вычисляются коэффициенты a и b . После того, как система была откалибрована для конкретного пациента и для конкретного расположения датчиков, давление может измеряться продолжительное время.

Преимуществами рассмотренного метода и технических средств является возможность продолжительного измерения давления с требуемой точностью, за счет высоких метрологических характеристик датчиков, их малых размеров, веса, высокой наглядности и информативности представляемых результатов измерений и гибкости управления ВП.

Библиографический список

1. Якименко Н.А., Гуржин С.Г. Анализ методов измерения кровяного давления. Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2018: сб. тр. XXXI Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (BookJet), 2018. – 520 с. С. 272-275.
2. Гуржин С.Г. Повышение эффективности регистрации измерительных сигналов на базе интегрирующих преобразований в системах цифрового осциллографирования: дис. канд. техн. наук: 05.11.16. Рязань, 2003. – 178 с.
3. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов. Практический подход, 2-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. – 992 с.
4. Шульгин В.И. Измерение артериального давления на основе совместной обработки набора физиологических показателей / В.И. Шульгин, Али Джадуй, Д.И. Шульга, К.В. Наседкин, В.В. Федотенко // Клиническая информатика и телемедицина. 2012. № 9. С. 45-50.

УДК 615.847; ГРНТИ 76.13

ЭЛЕКТРОТЕРАПЕВТИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА ЧЕРЕЗ ТОЧКИ АКУПУНКТУРЫ

Д. Ю. Ледков, В. Г. Кряков

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, d.ledkov2015@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе описана точка акупунктуры, влияние тока на точку акупунктуры. Проводится рассмотрение воздействия электрическими импульсами. Проводится рассмотрение структуры прибора электротерапевтического воздействия.

Ключевые слова: акупунктурная точка, электрические импульсы, электропроводность.

ELECTROTHERAPEUTIC IMPACT ON HUMAN ORGANISM THROUGH ACUPUNCTURE POINTS

D. Yu. Ledkov, V. G. Kryakov

*Ryazan State University of Radio Engineering,
Russian Federation, Ryazan, d.ledkov2015@yandex.ru*

Annotation. In this paper, the acupuncture point, the influence of current on the acupuncture point is described. The impact of electrical pulses of various durations is reviewed. The structure of the electrotherapeutic device is considered.

Keywords. Acupuncture point, electrical impulses, conductivity.

Введение

Электротерапия – это один из методов физиотерапии, который основывается на контролируемом воздействии на организм электрического тока, магнитных и электромагнитных полей. Так как многие физиологические процессы связаны с появлением разности потенциалов или электрического тока, то электрический ток и электромагнитное

поле могут оказывать в зависимости от их силы и частоты разнообразное влияние на состояние отдельных органов и организма в целом [1]. Один из способов воздействия током на организм человека это через точки акупунктуры. Акупунктурная точка это маленький участок кожи и подкожной клетчатки от 1 до 3 мм, на поверхности которого приборы показывают резкое увеличение электропроводности, а точнее – увеличение электропоглощения. В области точек имеются определенные гистологические отличия, и они заключаются в большом количестве рецепторов (осязательные тельца, гломусы, концевые колбы). В микроразонах точки обнаружено много нервных клеток и их разветвлений. Так же в зоне точки имеется более тонкий слой эпидермиса, спиралеобразные сосудистые сетки и несколько другие коллагеновые волокна дермы. В большинстве случаев расположение точек совпадает с выходом вегетативных нервных волокон, иннервирующие внутренние органы. Значительное число так же по своей проекции совпадает с нервно-сосудистыми пучками и с ходом нервных стволов. Точки соединяются между собой 12-ю определенными линиями – меридианами. И на каждом меридиане есть репрезентативные точки. Они обладают определенными усредненными характеристиками всех точек меридиана. Там находятся гармонизирующие, возбуждающие и успокаивающие точки.

Оценка и роль воздействия электрическим током на точки акупунктуры

Параметры проводимости точки имеют ключевое значение в диагностике состояния организма. Акупунктурная точка обладает некоторым электрическим потенциалом. Этот потенциал возникает под действием ЭДС, существующей в теле, и оказывает соответствующее влияние на точки акупунктуры. Существуют определенные взаимосвязи между величинами ЭДС органов и лежащими на меридианах точками акупунктуры. Если на точку подают протекающий через измерительное устройство ток, то тело должно отреагировать на этот ток через точку акупунктуры [2]. Если органы тела здоровы, то между измерительным током прибора и реакцией тела устанавливается равновесие, которое приводит к отклонению стрелки на 50 делений шкалы. Если же тело не может полностью компенсировать измерительный ток, то показания стрелки оказывается ниже 50 делений (орган подвержен дегенеративным изменениям). Завышенные показания получаются когда орган раздражен или воспален и дает своей точке акупунктуры слишком завышенные значения. В таблице 1 показана зависимость состояния человеческого органа или системы от электропроводности.

Таблица 1. Зависимость состояния органа или системы от электропроводности

<i>Деления шкалы</i>	<i>Состояние органа или системы</i>
0 - 20	конечная фаза дегенерации
20 - 28	выраженная дегенерация
28 - 38	прогрессирующая дегенерация
38 - 48	начальная дегенерация
48 - 66	норма
66 - 80	подострое воспаление
80 - 100	выраженное воспаление

Основная структура прибора электротерапевтического воздействия

Исходя из изложенного, целью настоящей работы является разработка аппарата, позволяющего производить диагностику и терапию акупунктурных точек с последующим

выводом результатов на дисплей или монитор ПК. Структурная схема разрабатываемого устройства содержит в своей основе диагностический блок и терапевтический блок. Диагностический блок представляет собой измерительное устройство, а именно, измеритель тока с линейным масштабом шкалы 100 единиц. Терапевтическое воздействие на точку импульсами различной частоты и длительности в зависимости от назначения выполняет терапевтический блок, содержащий в своей основе генератор импульсов, с помощью которого осуществляется лечение. Структурная схема разрабатываемого электротерапевтического прибора изображена на рисунке 1.

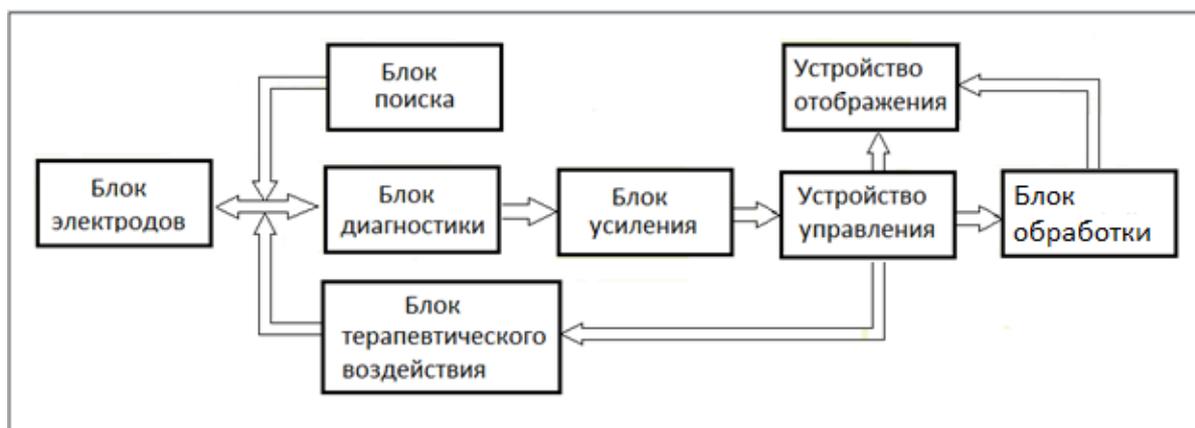


Рис. 1. Структурная схема электротерапевтического прибора

Исходя из анализа данных, получаемых при диагностике, и способов воздействия в качестве устройства управления используем микропроцессор, который будет преобразовывать получаемые данные диагностики и выводить на экран. Также его можно использовать в качестве генератора импульсов для формирования эффективного диапазона частот от 0,9 до 10 Гц (таблица 2). Использование токов такой частоты обусловлено тем, что они вызывают электрохимические процессы и реакцию со стороны нервной системы и, в отличие от высоких частот, не вызывают нагрева тканей.

Таблица 2. Лечебные частоты

Частотный диапазон	Границы диапазонов	Направление воздействий
Низкие частоты	0.9-4 Гц	Кровь и лимфа, костные ткани, мускулатура, кожа и соединительные ткани
Средние частоты	4-7 Гц	Вегетативная и периферическая нервная система
Высокие частоты	7-10 Гц/10Гц	Паренхиматозные органы/Сердечные заболевания

Блок терапевтического воздействия так же будет иметь возможность смены лечебных частот по типу "волновые качели" (рис. 2), когда пробегание всего диапазона частот происходит за 3 мин.



Рис. 2. Волновые качели

Использование данного типа смены частот позволит комплексно воздействовать на точку акупунктуры. Смена полярности в блоке терапевтического воздействия необходима, так как при воздействии постоянным током из-за электролиза тканевых жидкостей у положительного электрода образуется хлористоводородная кислота, а у отрицательного - гидрат окиси натрия [3]. Для устранения этого эффекта необходимо менять полярность постоянного тока каждые 10-15 секунд.

Алгоритм работы устройства представлен на рисунке 3. Алгоритм показывает последовательность работы с данным аппаратом.

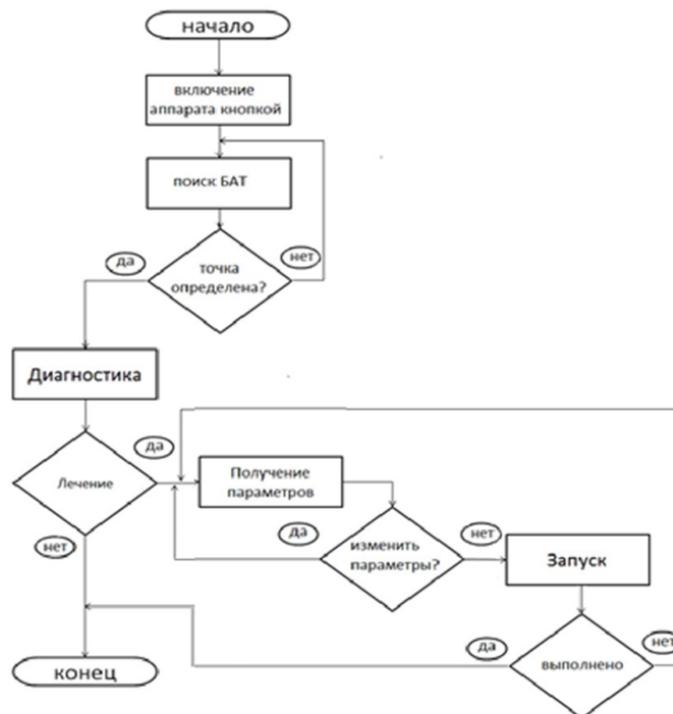


Рис. 3. Алгоритм работы

Библиографический список

1. Ф. Крамер «Учебник по электроакупунктуре» том 1. 164стр. Москва 1995г.
2. Ф. Г. Портнов «Электропунктурная рефлексотерапия» Второе издание. 310стр. Издательство «Зинатне» 1982г.
3. Д. И. Атаев «Электропунктурная рефлексотерапия» 164стр. Издательство МЭИ Москва 1993г.

УДК 616-71; ГРНТИ 76.13.25

НЕПРЕРЫВНАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЕБ-КАМЕРОЙ И ФОРМИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В.Л. Нгуен, С.Г. Гуржин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, nguyenvietlinh010992@gmail.com*

Аннотация. Рассматривается один из перспективных методов бесконтактной регистрации процесса дыхания пациента при проведении сеанса магнитотерапии с использованием веб-камеры.

Ключевые слова: регистрации процесса дыхания, веб-камера, виртуальный прибор (ВП), программа обработки изображений, LabVIEW, Vision Development Module.

CONTINUOUS REGISTRATION OF PHYSIOLOGICAL PROCESSES BY A WEB CAMERA AND FORMATION OF DIAGNOSTIC SIGNALS

V.L. Nguyen, S.G. Gurzhin,

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, nguyenvietlinh010992@gmail.com*

The summary. One of the most promising methods of contactless recording of the patient's breathing process during a magnetic therapy session using a webcam is considered.

Keywords: registration process of breathing, webcam, virtual instrument (VI), image processing program, LabVIEW, Vision Development Module.

В настоящее время существует ряд различных методов мониторинга функционального состояния человека. Их разделяют на контактные и бесконтактные [1]. Применение контактных датчиков часто вызывает у пациента дискомфорт, настороженность и ненужные волнения (например, за счет установки датчика дыхания в нос; надевания специальных очков на глаза, фиксирующей сетки на голову, сдавливания сосудов манжетой или прижимом и др.), создает неудобства для врача (необходимость закрепления датчиков на теле пациента, слежение за правильностью их положения, обеспечение необходимого контакта или ориентации и др.) и сопровождается наличием разнообразных мешающих факторов, которые устойчиво и случайным образом искажают диагностические сигналы. По этим причинам становится особенно актуальным применение бесконтактных методов регистрации функционального состояния человека. На данный момент наиболее важным и перспективным направлением для инженеров биомедицинских систем является область дистанционного мониторинга состояния человека во время проведения различных процедур диагностического или терапевтического характера. В качестве примера может служить использование бесконтактного ультразвукового локационного датчика дыхания в комплексной хрономагнитотерапии, когда объективный непрерывный контроль состояния пациента во время сеанса лечения является обязательным условием [2].

В данной работе производится анализ и выбор методов, обеспечивающих точную, надежную регистрацию о параметрах дыхания, таких как частота, фаза дыхания, изменения амплитуды движений грудной клетки, скорость вдоха, скорость выдоха, а в перспективе возможно получится повысить чувствительность алгоритма для регистрации колебаний при сердечных сокращениях. Как отмечалось выше для того чтобы технические средства не доставили дискомфорт пациенту, берутся во внимание только бесконтактные способы измерения. К ним относятся локационные методы: радиоизлучений, ультразвуковые и оптические.

Оптические методы выгодно отличаются от остальных многими своими замечательными свойствами: высокой точностью задания направлений и локализации луча света на малых расстояниях, высокой скоростью зондирования, точностью указания

местоположения светового пятна, безопасностью излучения по отношению к человеку и др. [3].

Подтверждением отмеченных достоинств может служить метод **оптической триангуляции**, который является одним из наиболее эффективных и точных методов для измерения малых перемещений. На основе этого метода предлагается его модификация, планируемая к реализации в магнитотерапевтическом комплексе «Мультимаг» в качестве канала биотехнической обратной связи для оценки текущего физиологического состояния пациента.

На рисунке 1 представлена структура системы регистрации процесса дыхания на основе персонального компьютера (ПК), программной платформой которой служит среда LabVIEW с приложением Vision Development Module для обработки изображений.

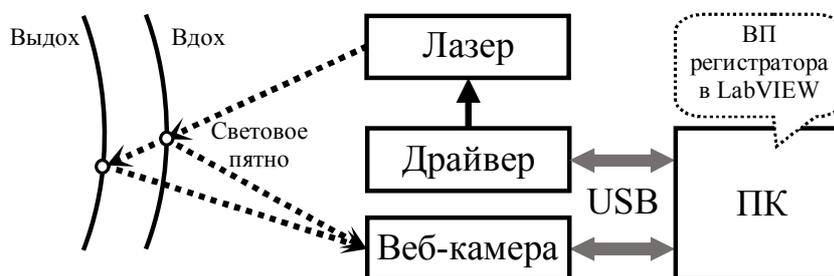


Рис. 1. Структура системы регистрации дыхания на базе веб-камеры и ПК

Измерительный преобразователь состоит из управляемого ПК лазера, излучающего на грудную клетку пациента узконаправленный пучок света, и матрицы фоточувствительных элементов видеокамеры.

Принцип работы предлагаемой системы заключается в том, что формируемый с помощью лазера пучок света проецируется на пациента. Видеокамера воспринимает отраженный от грудной клетки луч в виде светового пятна, которое в процессе дыхания изменяет свое положение на поверхности груди. В результате видеокамерой производится непрерывная регистрация перемещения пятна, что может быть использовано для формирования диагностического сигнала. Но для того чтобы получить качественное изображение пятна в динамическом режиме и выделить истинную траекторию его движения на фоне различных мешающих факторов необходимо применить специальные приемы и виды обработки.

Существует много сред программирования для обработки и анализа цифровых изображений, таких как MATLAB, Microsoft Visual Studio, LabVIEW и др. В данном проекте целесообразно использовать среду графического программирования LabVIEW, поскольку она позволяет гибко управлять процессом измерения в автоматическом или интерактивном режимах. Среда имеет обширный набор функциональных библиотек (общего назначения и специализированных), так, например, библиотеку обработки изображений Vision Development Module (VDM).

Разработан алгоритм захвата и преобразования видеосигнала (рис. 2), экспериментальный вариант ВП, который позволяет производить оперативную обработку изображений светового пятна и формирования диагностического сигнала дыхания. В дальнейшем планируется создать ВП выделения и измерения информативных параметров сигнала, вычисления значимых медицинских показателей и представления результатов врачу во время проведения сеанса магнитотерапии.

Алгоритм работает следующим образом: работа начинается с блока 2, инициализация – приведение программы и видеокамеры в состоянии готовности к использованию. Далее происходит процесс получения изображения с видеокамеры – блок 3. Для дальнейшей обработки и анализа необходимо преобразовать изображение в некотором формате цветного пространства – блок 4. Большая часть этого процесса заключается в преобразовании цветного изображения из RGB (Red, Green, Blue) в оттенки серого. Так как в экспериментальной системе использовалась лазерная указка с красным свечением для определения колебаний грудной клетки, то необходимо выделять только пятно красного цвета из общего изображения – блок 5. Блок 6 отображает результат получения изображения светового пятна. После извлечения пятна идет подготовка данных для получения и формирования дыхательного сигнала. Блок 7 – обработка дыхательного сигнала: вычисление частоты дыхания, выделение фаз вдоха, выдоха и т.д. Результаты работы будут отображены на экране компьютера – блок 9. Далее сигнал «стоп» останавливает и заканчивает работу программы.

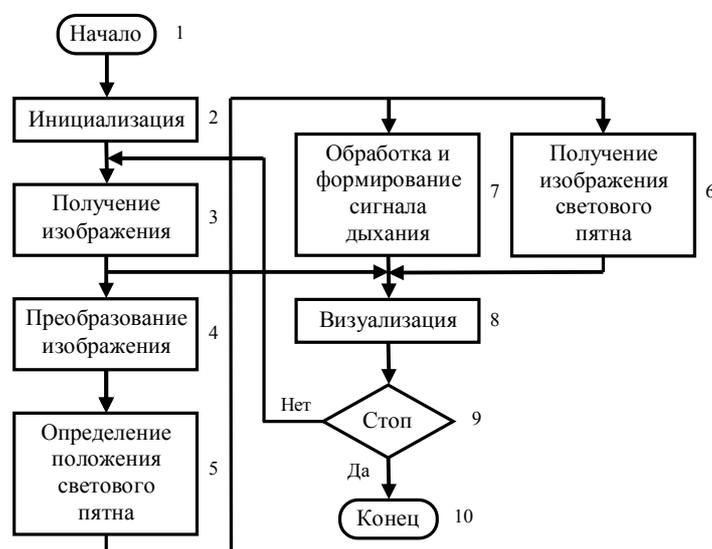


Рис. 2. Блок-схема алгоритма

LabVIEW хорошо подходит для обработки изображений и приложений машинного зрения, используя библиотеки обработки изображений IMAQ (IMage AcQuisition) и Vision Development Module [4,5].

Библиотека IMAQ содержит простые функции управления изображениями, такие как изменение размера или извлечение частей изображений, а также несколько высокоуровневых инструментов видения для распознавания образов и анализа формы.

Модуль Vision Development Module предназначен для разработки и развертывания приложений машинного зрения. Он включает в себя сотни функций для получения изображений с камеры и обработки изображений путем их улучшения, проверки наличия, определения местоположения объектов, идентификации объектов и измерения деталей.

Для демонстрации работы программы использовались обычная веб-камера, лазерная указка и ПК (рис. 3).

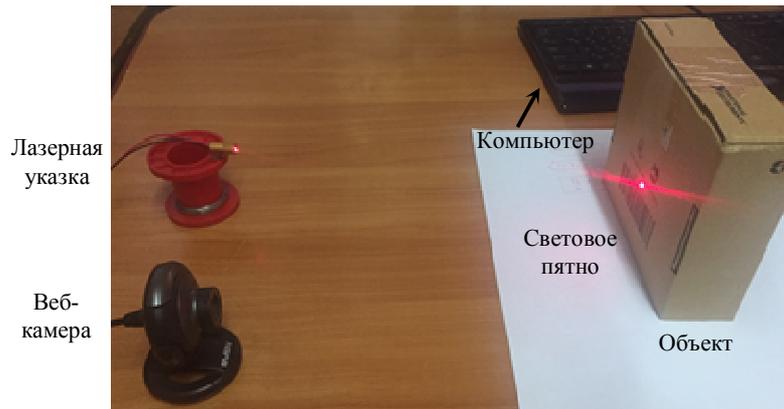


Рис. 3. Макет системы регистрации линейных перемещений

Веб-камера и лазерная указка располагаются параллельно друг другу, а напротив них на определенном расстоянии находится объект.

Лазерный луч был направлен на объект, который передвигался и имитировал процесс вдоха и выдоха пациента, а видекамера регистрировала передвижения изображения светового пятна. Далее изображение использовалось в качестве входных данных для написанной программы. Результаты эксперимента в виде лицевой панели ВП представлены на рисунке 4.

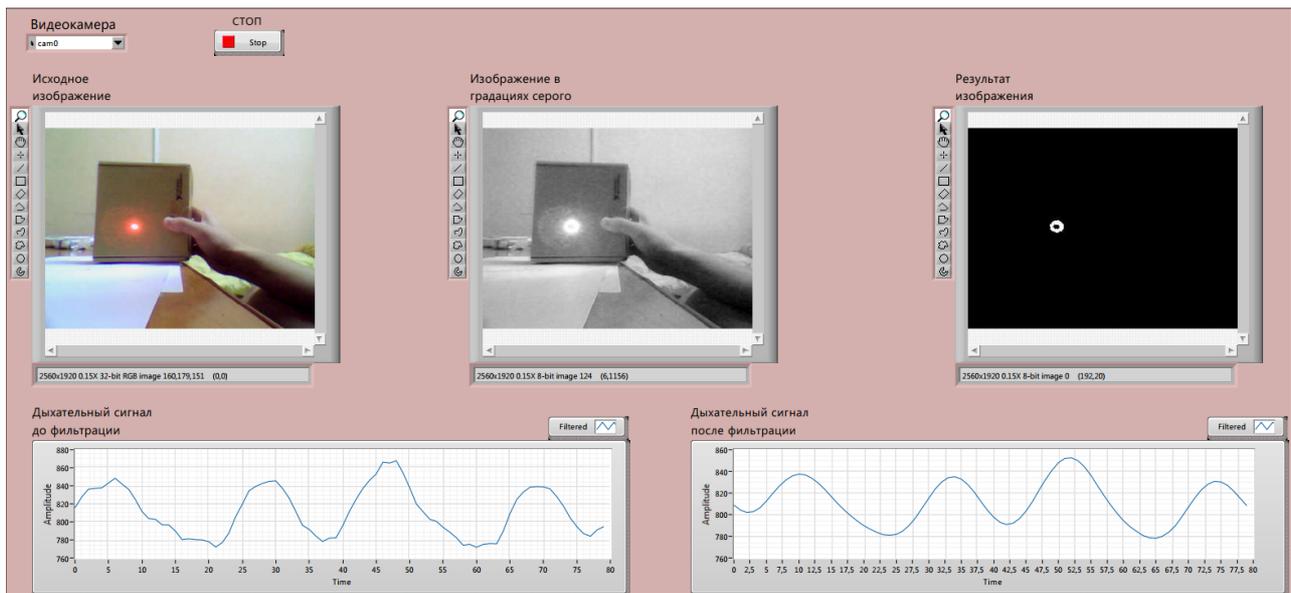


Рис. 4. Результат эксперимента

Таким образом, эксперимент показал, что предложенный алгоритм работоспособен, но для его совершенствования необходимо решить несколько задач:

- устранить помехи от других источников красного цвета. Поскольку для поиска светового пятна был предложен один из вариантов выделения области красного цвета по каналу R из трех цветовых компонентов R, G и B, то другие источники красного цвета существенно влияют на качество распознавания;
- улучшить алгоритм определения перемещения светового пятна при движении объекта;

– определить оптимальное расстояние между видеокамерой и источником света – лазером, а также расстояние до объекта, с учетом реального диапазона колебаний грудной клетки.

Библиографический список

1. Гуржин С.Г., Нгуен В.Л. Сравнительный анализ методов и средств регистрации процесса дыхания // Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2018 [текст]: сб. тр. XXXI Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2018. – 528 с. С. 269-271.
2. Григорьев Е.М., Гуржин С.Г., Жулев В.И., Каплан М.Б., Кряков В.Г., Прошин Е.М., Путилин Е.О., Шуляков А.В. Регистрация, преобразование и обработка биоэлектрических сигналов канала биотехнической обратной связи комплекса «Мультимаг» // Биомедицинская радиоэлектроника. 2015. №5. С. 4-13.
3. Пинчукова В.В., Гуржин С.Г. Применение видеокамеры для измерений в медицинской диагностике // Материалы Международной научно-технической конференции «Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2018»: сб. тр. междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6. / под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2018. С. 92-95. – 205 с.
4. C.G. Relf. Image Acquisition and Processing with LabVIEW, ISBN 0-8493-1480-1, 268 p., 2004.
5. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, В.А. Князь, А.Н. Ходарев, А.В. Моржин. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 463 с.

УДК 611.127; ГРНТИ 76.13.15

АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЗДНИХ ПОТЕНЦИАЛОВ ЖЕЛУДОЧКОВ СЕРДЦА ПО ФАЗОВОМУ СПЕКТРУ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА

О.А. Мухаметзянов, С.С. Седов, Э.Р. Галимзянов

*Казанский Национальный Исследовательский Технический Университет –
Казанский Авиационный Институт имени А.Н. Туполева,
Российская Федерация, Казань, vision_void@mail.ru*

Аннотация. В работе мы исследуем применение критерия «К» с целью определения наличия поздних потенциалов желудочков сердца (ППЖ) на электрокардиосигнале (ЭКС) в реальном масштабе времени без временного усреднения сигнала. Критерий «К» предложен в нашей предыдущей работе. Он представляет собой отношение суммарных фаз НЧ к ВЧ части фазового спектра ЭКС. Исследование мы проводили на увеличенной выборке.

Ключевые слова: электрокардиосигнал (ЭКС), поздние потенциалы желудочков (ППЖ), цифровая диагностика.

THE ANALYSIS OF STATISTICAL REGULARITIES IN THE FIELD OF VENTRICULAR LATE POTENTIALS' DETECTION BY THE ELECTROCARDIOSIGNAL'S PHASE SPECTRUM

O.A. Mukhametzyanov, S.S. Sedov, E.R. Galimzyanov

*Kazan National Research Technical University –
Kazan Aviation Institute named after A.N. Tupolev,
Russia, Kazan, vision_void@mail.ru*

The summary. In this work we are researching «K» criterion's application with the purpose of ventricular late potentials' detection at the electrocardiosignal in real-time scale without signal's time-averaging. The criterion «K» had been designed in our previous work. It's LF/HF ratio of the summary phases in the phase spectrum. In this work we researched an increased sample.

Keywords: electrocardiosignal (ECS), ventricular late potentials (VLPs), digital analysis.

Наше исследование посвящено цифровой обработке электрокардиосигналов (ЭКС), а также созданию и развитию различного рода алгоритмов, которые помогут эффективно анализировать ЭКС. Цель нашего исследования – определение поздних потенциалов

желудочков сердца (ППЖ) на ЭКС.

Поздние потенциалы желудочков (ППЖ)

ППЖ – явление в области электрокардиографии, открытое британским учёным М. Симсоном [1]. ППЖ - низкоамплитудные сигналы, которые располагаются в ST-сегменте (в основном) или последней трети QRS-комплекса (реже). Амплитуда ППЖ не превышает 30 мкВ: пиковое значение данных потенциалов находится ниже уровня шумов, присутствующих на ЭКС, поэтому ППЖ мы можем зарегистрировать исключительно при помощи цифровой диагностики ЭКС, используя различного рода компьютерные технологии или программные комплексы.

На данный момент явление ППЖ является относительно малоизученным и, как следствие, весьма перспективным направлением в областях цифровой обработки сигналов и мобильной телемедицины. Проблема диагностики ППЖ является весьма актуальной по причине того, что наличие на ЭКС ППЖ свидетельствует о том, что в будущем у пациента могут развиваться различного рода аритмии сердца с высокой вероятностью (до 70%).

Цифровая диагностика ЭКС с ППЖ

Основным методом определения ППЖ на ЭКС на настоящее время является метод временного анализа или метод Симсона. Он состоит из следующих процедур:

1. Регистрация ЭКС по отведениям X, Y, Z (отведения взаимно ортогональны).
2. Усреднение ЭКС (QRS-комплексов).
3. Фильтрация в диапазоне 40-250 Гц.
4. Анализ векторной суммарной величины.

5. Анализ пороговых показателей: длительность отфильтрованного комплекса QRS, длительность низкоамплитудных сигналов в поздней части отфильтрованного комплекса QRS, а также среднеквадратичная амплитуда последних 40 мс отфильтрованного комплекса QRS [1].

Несмотря на высокую эффективность данного метода, он имеет свои недостатки, а именно:

1. Длительность анализа: данный недостаток проявляется в процессе усреднения множества ЭКС или QRS-комплексов.
2. Относительно сложная программная реализация.

Мы предлагаем альтернативный вариант решения проблемы определения ППЖ на ЭКС. Он состоит в применении спектрального анализа с дальнейшим получением фазового спектра и его непосредственного анализа. Программно подобную методику реализовать гораздо проще, а также у нас будет возможность наблюдать динамические изменения ППЖ.

В нашей работе [2] мы:

- Предложили критерий наличия ППЖ на ЭКС в виде коэффициента K:
-

$$K = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{f_{\text{гp}}} \varphi_i^2}{\sum_{i=f_{\text{гp}+1}}^{120} \varphi_i^2}},$$

где φ_i – составляющая фазового спектра; $f_{\text{гp}}$ – граничная частота.

- Определили основные пороговые значения: граничную частоту и пороговый коэффициент K.

В данной работе мы исследуем увеличенную выборку ЭКС (80 исследуемых ЭКС) с помощью коэффициента K, а также выделяем статистические особенности, закономерности,

которые проявляются в процессе данного исследования.

Для проведения исследования мы использовали ЭКС из интернет-ресурса Physionet, базы PTB Diagnostic ECG Database [3]. В качестве инструмента проведения исследования мы воспользовались программным комплексом MATLAB, а для удобства при статистическом анализе мы использовали программный комплекс Microsoft Office Excel. Предварительно ЭКС были исследованы методом Симсона для определения наличия/отсутствия ППЖ.

Выборку из 80 ЭКС мы делим на классы (по 40 ЭКС на класс): ППЖ+ (наличие ППЖ на ЭКС) и ППЖ- (отсутствие ППЖ на ЭКС). Используя аппарат быстрого преобразования Фурье, мы получили фазовые спектры для каждого из исследуемых ЭКС. Усреднённые фазовые спектры ЭКС классов ППЖ+ и ППЖ- представлены на рисунке 1.

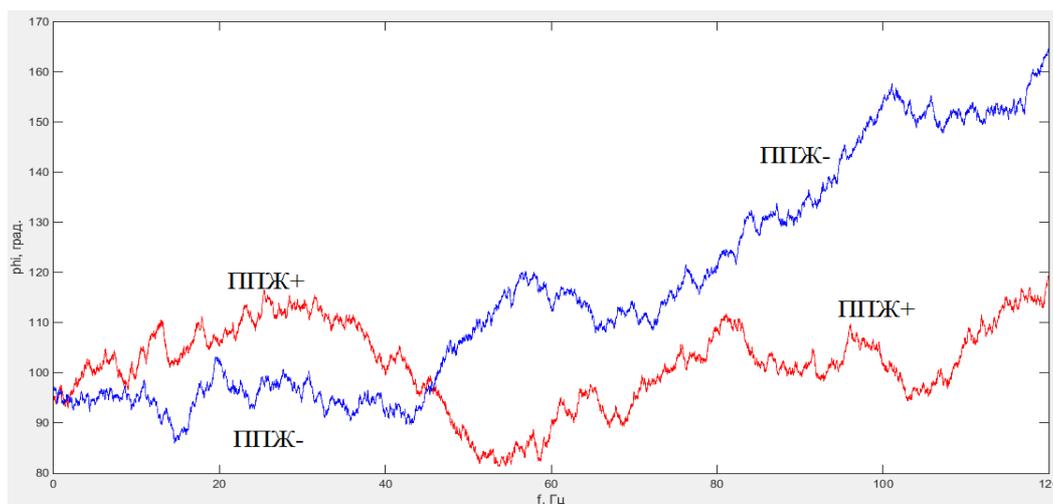
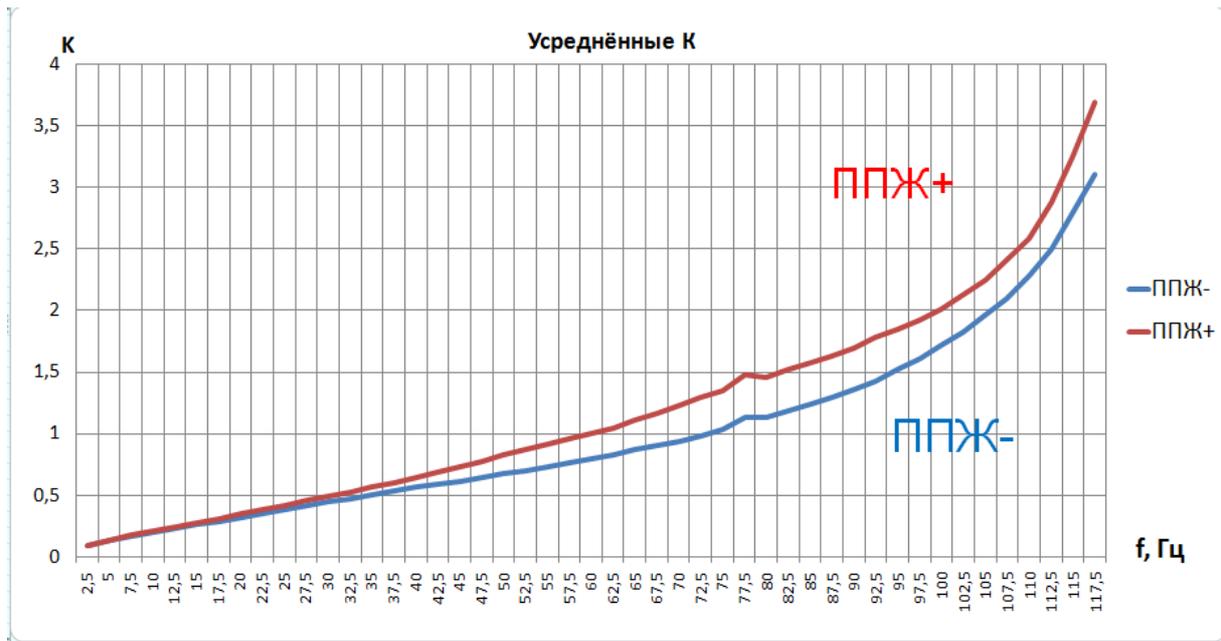


Рис. 1. Усреднённые фазовые спектры

Отметим визуальные различия между усреднёнными фазовыми спектрами обоих классов, следовательно, мы можем утверждать о том, что существует некий критерий наличия/отсутствия ППЖ на ЭКС.

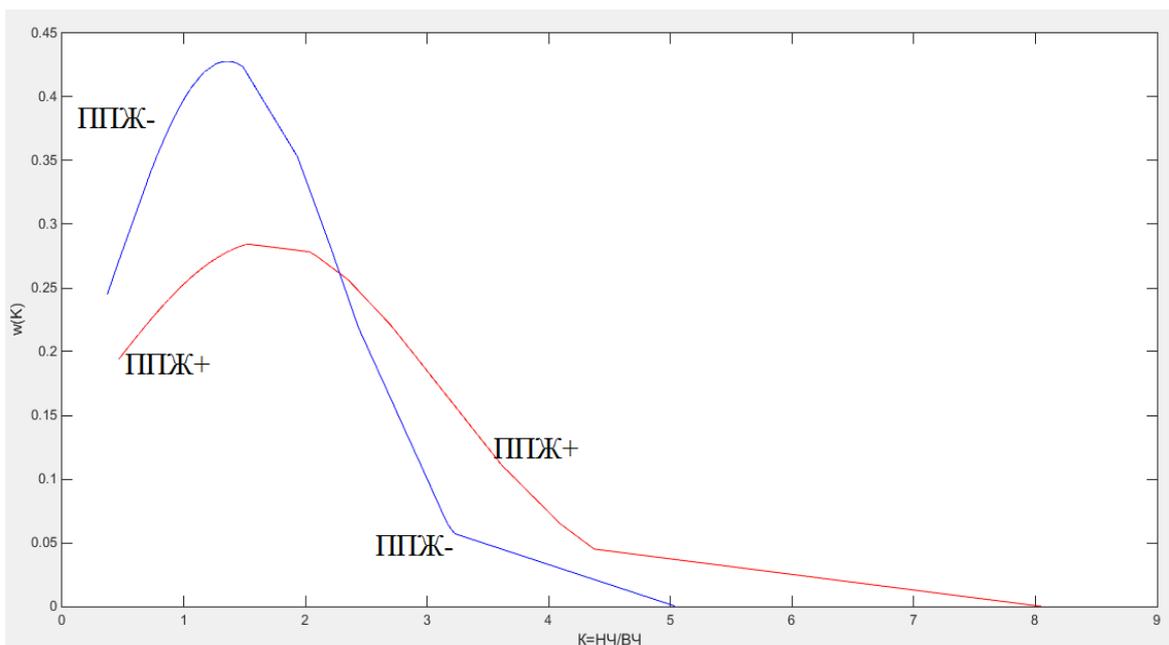
Для определения граничной частоты мы построили усреднённые зависимости $K(f)$ для классов ППЖ+ и ППЖ- (рис. 2).

Рис. 2. Получение зависимостей $K(f)$.

Теоретически оптимальной является та частота, на которой регистрируется наибольшая разность между усреднёнными зависимостями $K(f)$. Мы определили оптимальную частоту: она составляет $f = 92,5$ Гц, при этом разность между зависимостями $\Delta K \approx 0,353$.

Далее мы определяем пороговое значение коэффициента K , а также показатель эффективности – процентное соотношение верно определённых диагнозов (наличие/отсутствие ППЖ) по отношению к общему числу ЭКС в выборке.

Для этого мы строим характеристики плотности вероятности (Гауссовские характеристики) для увеличенной выборки коэффициентов K (рис. 3,4).

Рис. 3. Гауссовские характеристики на частоте $f = 90$ Гц.

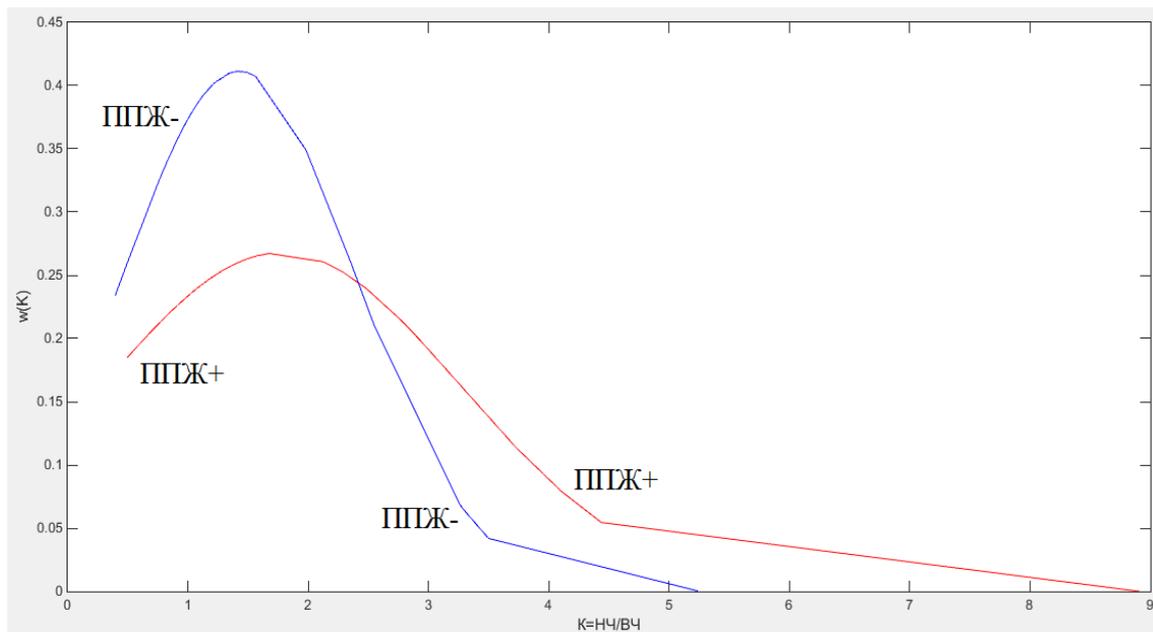


Рис. 4. Гауссовские характеристики на частоте $f = 92,5$ Гц.

Наибольшая эффективность наблюдается на частотах $f = 90$ Гц и $f = 92,5$ Гц. Эти частоты и являются граничными. При этом мы получили следующие пороговые показатели коэффициента K :

- Для $f = 90$ Гц пороговое значение $K_{\text{пор}} = 2,28$.
- Для $f = 92,5$ Гц пороговое значение $K_{\text{пор}} = 2,42$.

Анализ статистических закономерностей

С учётом результатов, полученных нами ранее в работе [3], мы можем отметить некоторые статистические закономерности, которые наблюдаются в ходе исследования предложенного нами коэффициента K в качестве критерия наличия/отсутствия ППЖ.

1. Первая закономерность – относительно небольшая вариативность значений пороговых параметров с увеличением выборки исследуемых ЭКС:

- В работе [3] мы получили следующие значения пороговых параметров: граничная частота $f = 85$ Гц, а также пороговое значение критерия наличия/отсутствия ППЖ $K_{\text{пор}} = 2,25$.
- В ходе данного исследования мы получили результаты, несильно отличающиеся от результатов работы [3]: $f = 90$ Гц ($K_{\text{пор}} = 2,28$) и $f = 92,5$ Гц ($K_{\text{пор}} = 2,42$).

2. Вторая закономерность – высокая эффективность алгоритма при определении класса, расположенного ниже значения $K_{\text{пор}}$. В ходе наших исследований таким классом оказался класс ППЖ-. Пиковые значения эффективности определения класса ППЖ- наблюдаются на граничных частотах и составляют:

- В работе [3] на частоте $f = 85$ Гц эффективность определения класса ППЖ- составила 92%.
- В ходе данного исследования на частотах $f = 90$ Гц и $f = 92,5$ Гц эффективность определения класса ППЖ- составила 87,5%.

Заключение, основные выводы

В ходе данного исследования мы определили граничные частоты, а также пороговые показатели коэффициента K . С учётом результатов работы [3] отметим следующие статисти-

ческие закономерности использования коэффициента K в качестве критерия наличия/отсутствия ППЖ на ЭКС:

1. Относительно небольшие изменения значений пороговых параметров, причём это касается как граничных частот, так и пороговых показателей коэффициентов K .
2. Наблюдается высокая эффективность алгоритма при определении ЭКС класса, расположенного ниже порогового показателя коэффициента K (класс ППЖ-).

В дальнейшем мы планируем увеличить статистику для уточнения пороговых показателей, а также выделения новых особенностей использования коэффициента K в качестве критерия наличия/отсутствия ППЖ на ЭКС.

Библиографический список

1. Simson M.B. Use of signals in the terminal QRS-complex to identify patients with ventricular tachycardia after myocardial infarction // Circulation, 1981.
2. Мухаметзянов О.А. Исследование фазового спектра электрокардиосигнала с целью обнаружения поздних потенциалов желудочков сердца // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли (АКТО)», Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2018. – Т.3, с. 221-224.
3. Physionet: the research source for complex physiologic signals [электронный ресурс] – Physiobank ATM: PTB Diagnostic ECG Database (ptbdb)/ Режим доступа: <https://www.physionet.org/cgi-bin/atm/ATM?database=ptbdb>

УДК 621.3.082.52; ГРНТИ 90.27.39

СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ДЫХАНИЯ И СЕРДЦЕБИЕНИЯ ПАЦИЕНТА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ СЕАНСА МАГНИТОТЕРАПИИ

В.В. Пинчукова, В.Л. Нгуен, С.Г. Гуржин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, vika.95pin@gmail.com*

Аннотация. В статье рассматриваются принципы регистрации частоты дыхания бесконтактным позиционно-чувствительным датчиком.

Ключевые слова: принцип оптической триангуляции, позиционно-чувствительный датчик, колебания грудной клетки, среда LabVIEW.

SYSTEM OF OPERATIONAL REMOTE MONITORING OF RESPIRATION AND HEART HEATING OF THE PATIENT IN THE PROCESS OF THE MAGNETOTAPY SESSION

V.V. Pinchukova, V.L. Nguyen, S.G. Gurzhin

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, vika.95pin@gmail.com*

The summary. The article discusses the principle of recording the frequency of breathing with a contactless position-sensitive sensor.

Keywords: principle of optical triangulation, position-sensitive sensor, chest oscillations, LabVIEW environment.

Ранее для реализации дистанционного мониторинга в условиях проведения сеанса магнитотерапии в аппаратно-программном комплексе КАП-МТ/8-«Мультимаг» в качестве метода дистанционного измерения малых перемещений было предложено использовать принцип оптической триангуляции [1] и бесконтактный позиционно-чувствительный датчик PSD (position sensing detectors) на базе линейки фотодетекторов [2] (рис. 1).

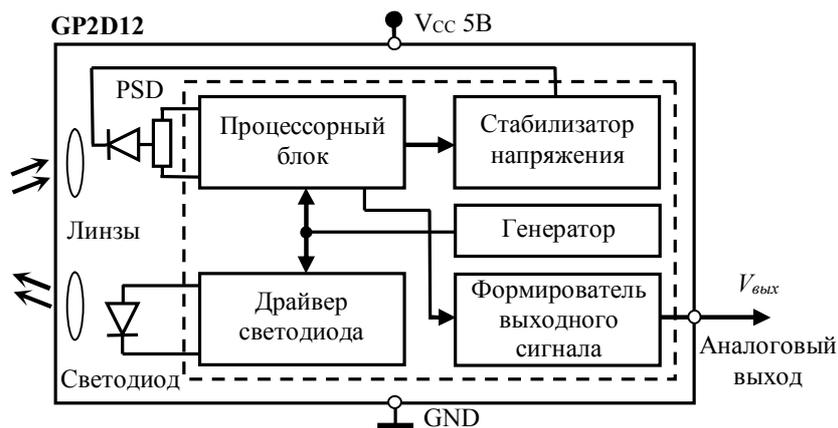


Рис. 1. Структурная схема датчика PSD

В модуль датчика включен светодиод, излучающий инфракрасный поток света. Линза направляет и фокусирует поток на груди пациента в виде светового пятна, изменение положения которого воспринимается фотоэлементами. Поскольку верхняя граница диапазона измерения датчика составляет 80 см, то требуется большая интенсивность излучения. Для этого в составе модуля предусмотрен драйвер светодиода, который работает в импульсном режиме от внутреннего генератора. Отраженный от поверхности грудной клетки луч через вторую линзу попадает на фотоэлементы PSD. От местоположения падающего на фотоэлементы луча зависит их проводимость. Процессорный блок преобразует проводимость в электрическое напряжение, пропорциональное расстоянию до объекта и формирует выходной аналоговый сигнал. Стабилизатор напряжения обеспечивает постоянный уровень протекающего через фотоэлементы тока, поддерживая одинаковую чувствительность световому потоку на длительное время.

На рисунке 2 представлена иллюстрация метода регистрации колебаний грудной клетки пациента с помощью триангуляционного датчика GP2D12.

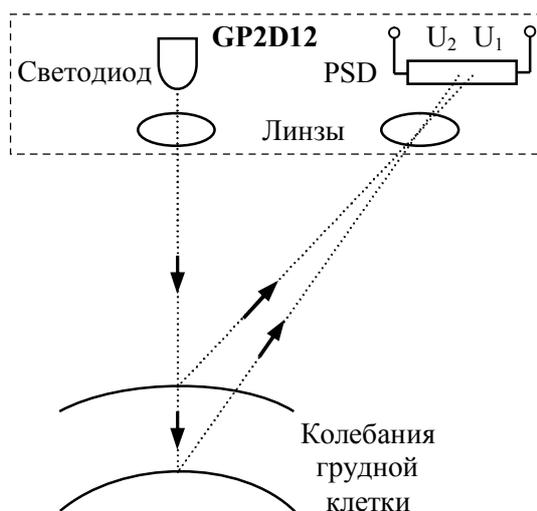


Рис. 2. Регистрация колебаний грудной клетки триангуляционным датчиком

Неоспоримым преимуществом данного датчика является то, что источник и приемник светового потока согласованы на уровне общей схемы управления и преобразования, питающих напряжений и не требуют каких-либо дополнительных средств, обеспечивающих

их нормальную работу. Действительная функция преобразования датчика является нелинейной, однако в технической документации предложен несложный способ ее линеаризации путем нахождения обратной зависимости от выходного напряжения, т.е. определения новой функции $1/V_{\text{вых}}$ [3]. Простота использования данного устройства и стабильность его метрологических характеристик позволяют сконцентрировать внимание разработчика только на программных средствах регистрации, обработки сигнала и измерения его информативных параметров.

В общем случае триангуляционные датчики имеют широкий диапазон измерения линейных перемещений от долей микрон до нескольких десятков метров. Они способны работать с объектами очень малых размеров, имеющими различные цвета, сложную текстуру, рельеф поверхности и движущиеся с высокой скоростью [4].

Выходной сигнал датчика содержит колебания грудной клетки, связанные с дыханием и сокращениями сердца. Логично предположить, что каждая из составляющих сигнала имеет свои амплитудные, частотные и временные параметры, которые предполагается разделить для дальнейшего детального анализа на отдельные массивы данных с помощью специально разработанных программных средств. Для этого аналоговый сигнал с выхода датчика поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) платы сбора данных (Data acquisition board, DAQ). Плата позволяет загрузить данные в компьютер и сохранить их в файлах с различным расширением. Настройка платы сбора данных осуществляется с помощью программного обеспечения Measurement & Automation Explorer (MAX) фирмы National Instruments.

Обработка сигнала колебаний грудной клетки производится процессором компьютера по программе, реализованной виртуальным прибором (ВП) в среде графического программирования LabVIEW.

Структура ВП включает в себя подприборы: инициализации входа, с которого будет поступать информация, и приема данных, разделения сигналов дыхания и пульса, цифровой фильтрации, выделения максимумов сигналов, формирования импульсов синхронизации магнитного поля (МП). Параллельно каналу синхронизации реализуются подприборы: выделения информативных параметров и их измерения, определения диагностических показателей, визуализации полезных сигналов дыхания и пульса в реальном масштабе времени, информативных параметров и показателей (рис. 3).

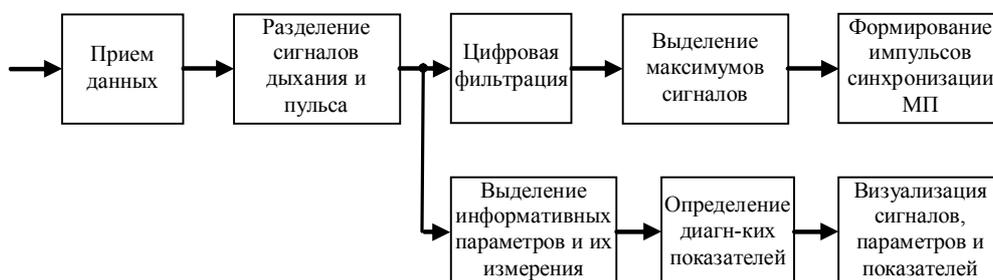


Рис. 3. Структура ВП системы мониторинга дыхания и пульса

Так как суммарный сигнал с выхода АЦП представляет собой квазипериодический сигнал сложной формы с явно выраженными значениями максимумов, то одними из первых решаемых задач разрабатываемой системы является определение их временного положения и формирование в найденные моменты времени импульсов для синхронизации магнитотерапевтического воздействия. Этот канал реализует контур биотехнической обратной связи для согласования во времени параметров МП с биоритмами конкретного

пациента (биоадаптация).

Из ряда подприборов второго канала реализован ВП регистрации и визуализации сигнала дыхания (рис. 4).

На лицевой панели ВП отображается осциллограмма сигнала дыхания, обработанного системой фильтров. Непрерывный мониторинг сигнала дыхания в режиме реального времени позволяет наблюдать ответные реакции организма пациента на заданный тип и биотропные параметры воздействия, а также объективно судить о частоте и глубине дыхания.

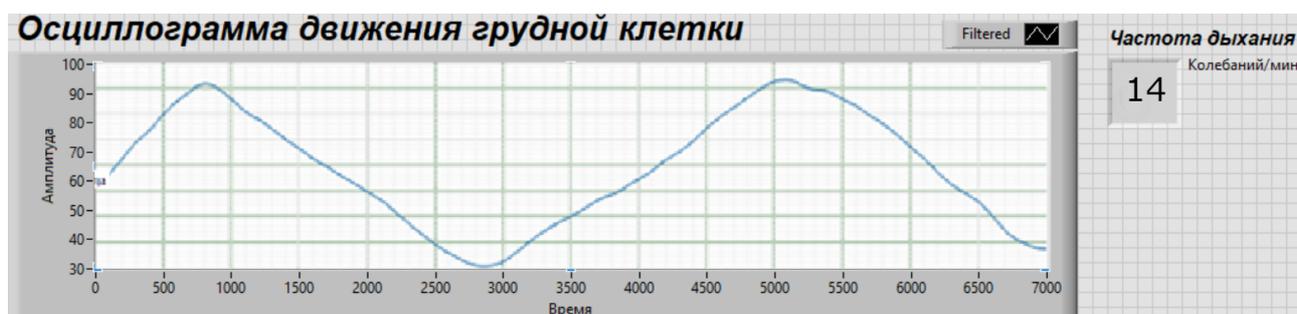


Рис. 3. Лицевая панель ВП с зарегистрированным сигналом процесса дыхания

Анализ закономерностей изменения сигналов пульса и дыхания непосредственно в момент проведения процедуры магнитотерапии даст возможность оперативно корректировать параметры воздействия МП и повысить в целом эффективность лечения.

Библиографический список

1. Пинчукова В.В., Гуржин С.Г. Возможность применения оптических методов регистрации пульса и дыхания при проведении сеансов магнитотерапии // Биотехнические, медицинские, экологические системы и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2018: сб. тр. XXXI Всерос. научн.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань, 2018. – 520 с. С. 253-256.
2. <http://www.sensorica.ru/docs/art4.shtml> [Электронный ресурс].
3. <https://acroname.com/articles/linearizing-sharp-ranger-data> [Электронный ресурс].
4. Самарин А. Позиционно-чувствительные фотодатчики // Электронные компоненты. 2003. №7. С. 103-107.

УДК 531.7; ГРНТИ 620.17.08

СИСТЕМА ЛАЗЕРНОГО ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ВИБРАЦИЙ

И.Ю. Подчиненов

Рязанский государственный радиотехнический университет

Российская Федерация, Рязань, ivan.podchinenov@mail.ru

Аннотация. В данной работе представлена разработка системы лазерного измерения и регистрации механических вибраций. Данная система может быть востребована на многих производствах, для создания механических движущихся конструкций.

Ключевые слова: вибрация, интерферометр, лазер.

LASER MEASUREMENT AND RECORDING SYSTEM FOR MECHANICAL VIBRATIONS

I.Y. Podchinenov

Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, ivan.podchinenov@mail.ru

The summary. This paper presents the development of a system for laser measurement and recording of mechanical vibrations. This system can be in demand in many industries, to create mechanical moving structures.

Key words: vibration, interferometer, laser.

В современном мире технологии различного масштаба нуждаются в непосредственном контроле многих параметров технологического процесса. Важнейшими из них являются параметры механического движения, а именно периодические перемещения объекта измерений в пространстве, другими словами – вибрации. Для ее измерения необходимы высокоточные приборы, с помощью которых проводить измерения стало бы легче, быстрее, эффективнее и с наименьшей погрешностью. В связи с этим необходимо спроектировать систему для измерения и регистрации вибрации, которая будет удовлетворять всем этим качествам.

Для определения численного значения вибрации применяются два метода: контактные и бесконтактные. Первые подразумевают непосредственную механическую связь между датчиком и объектом измерения. Вторые способны измерять показания вибрации на расстоянии от объекта. Система лазерного измерения и регистраций вибраций данного доклада относится к бесконтактным методам измерения.[2]

В основу системы положен принцип интерференции, который использует принцип сложения когерентных сигналов оптического диапазона, сдвинутых по фазе. Принцип простейшей интерференционной системы показан на рисунке 1.

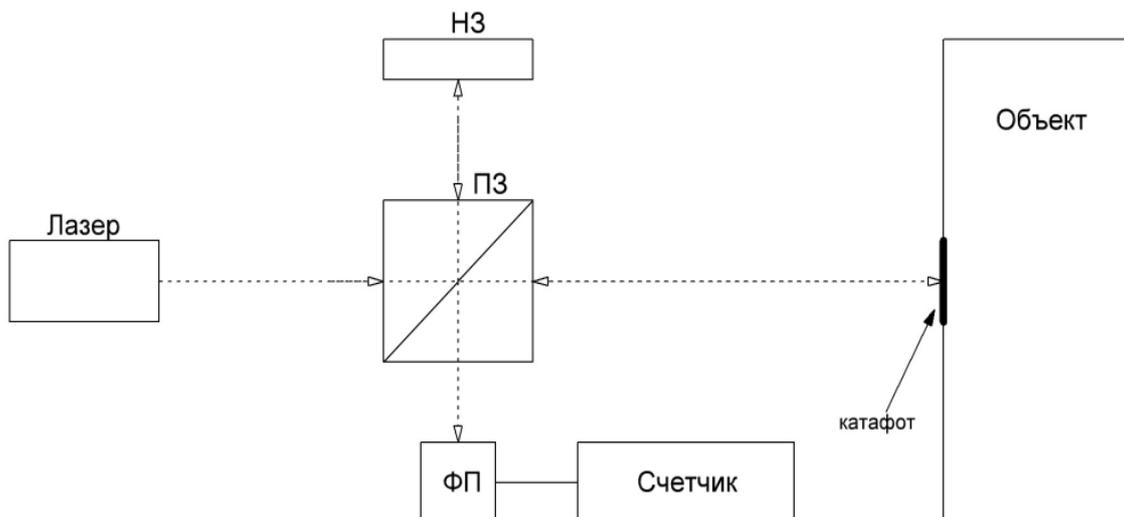


Рис. 1. Интерференционная система

Она состоит из источника излучения (лазер), интерферометра и счетчика импульсов. Сам интерферометр в свою очередь состоит из полупрозрачного разделительного куба, непрозрачного зеркала и фотоприемника. Минус данной системы заключается в том, что как такого измерения вибрации невозможно, т.к. система будет регистрировать только движение объекта в одном направлении.[3] Но для того чтобы получить систему регистрирующую и

измеряющую вибрацию добавляем к простейшей интерференционной системе еще один интерферометр, логическую схему и делитель луча. Тем самым мы получаем систему способную измерять вибрации и отображать ее величину в численном значении. Схема для такой системы приведена на рисунке 2. Луч лазера, попадает на первое полупрозрачное зеркало, тем самым один луч проходит дальше, а другой отражается перпендикулярно и попадает на непрозрачное зеркало. Это зеркало установлено под углом 45° , поэтому луч далее отражается ровно на 90° и становится параллельно первому лучу. Далее оба луча попадают на полупрозрачные зеркала, где вновь происходит разделение лучей. При этом лучи прошедшие прямо, попадают на объект измерения, а лучи отразившиеся перпендикулярно к исходным лучам направляются на непрозрачные зеркала.

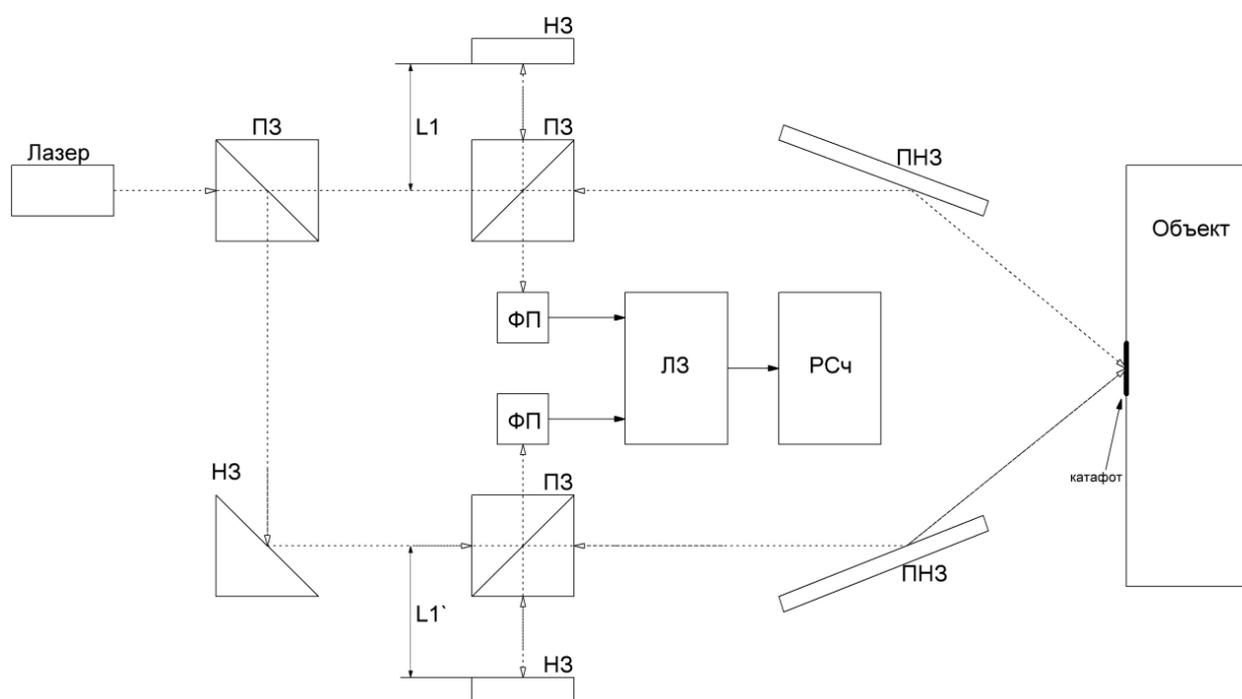


Рис. 2. Структурная схема системы

Затем лучи направляемые на объект с помощью регулируемых синхронных поворотных зеркал сводятся в одну точку, которая должна попасть на объект исследования. Поворот самих зеркал осуществляется с помощью одного серво привода и микроконтроллера. К микроконтроллеру подключается клавиатура с уровнем регулирования угла поворота зеркал. Человек оператор сам, с помощью клавиатуры, выставляет два луча в одну точку на катафот, который используется для отражения лучей в точно обратном направлении от объекта. Он представляет собой три зеркала соединённых перпендикулярно между собой. Это обеспечивает отражение луча в точно таком же направлении, в каком он и поступил на катафот. Для крепления катафот на объекты измерения используется либо магнитные держатели, если объект измерения является металлическим, либо используется специальный магнит с одной стороны которого находится двусторонний скотч, а на другую сторону крепится катафот с магнитом. Далее отраженные от объекта лучи возвращаются обратно на полупрозрачные зеркала и, отражаясь от них, направляются на фотоэлементы. В тоже время лучи отраженные от непрозрачных зеркал, также направляются на фотоэлементы. Здесь лучи складываются векторно, в зависимости от сдвига фаз между ними. Если сдвиг фаз нулевой, то суммарная интенсивность лучей будет максимальна, а если сдвиг фаз 180° , то

суммарная интенсивность минимальна. Но для того чтобы, между двумя фотоприемниками было смещение, то базовое расстояние между $L1$ делается приблизительно на $\frac{\lambda}{8}$ больше или меньше, чем базовое расстояние для первого луча. Далее фотоприемники «переводят» интенсивность в электрический сигнал, который попадает на логическую схему, где из сигналов 1 и 2 формируются импульсы из передних фронтов, а затем выделяется их совпадение с соседним сигналом. В результате получаем раздельно последовательности импульсов «+» во время движения вперед и последовательности импульсов «-» во время движения назад. Для их накопления с учетом направления перемещения эти импульсы поступают соответственно на разные входы реверсивного счетчика, т.к. такой счетчик работает как на сложение импульсов, так и на вычитание.[1] Таким образом, механическая величина вибрации отобразилась в цифровом формате. Далее значение со счетчика поступает на микроконтроллер для дальнейшей обработки. В результате его работы мы сможем увидеть на дисплее прибора численное значение вибрации, а также график ее изменения в реальном времени. Также к микроконтроллеру необходимо подключить клавиатуру, для управления реверсивными счетчиками, для начала и завершения измерений. По шине SPI реализуется сохранение результатов измерения на SD-карту. При этом программное обеспечение реализовано таким образом, чтобы можно было посмотреть результаты прошлых измерений, которые записаны на SD карту, на дисплее самого устройства, не прибегая к сторонним персональным компьютерам.

Лазерная система измерения вибрации является автономным устройством, то есть, может работать не от общей сети, а от аккумуляторной батареи

Единственным недостатком подобной системы является место установки. Ее необходимо устанавливать на массивное бетонное основание, чтобы исключить качения самой системы, т.к. эти качения будут записываться счётчиком, что естественно даст большую погрешность в результат измерения. Для устранения этой погрешности можно применить прерывистое включение луча, то есть подавать «порциями» импульсы на объект измерения. Но только подобного усовершенствования не хватит, чтобы устранить погрешность полностью. Поэтому предприятиям, приобретающим подобную систему измерений, необходимо предусмотреть, чтобы в месте проведения измерения присутствовало монолитное бетонное основание.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что лазерная система измерения и регистраций вибраций будет обладать высокой точностью измерений, способностью отображать даже незначительные колебания, которые не ощутимы человеком, простотой измерения по сравнению с контактными датчиками вибрации.

Библиографический список

1. Цифровые измерительные устройства: учеб. пособие / Е.М. Прошин; Рязанский государственный радиотехнический университет.– Рязань: 2011, 224с. ISBN 978-5-7722-0292-0
2. Лазерная виброметрия механических конструкций: учеб. пособие/ Л17 [О.А. Журавлев и др.] – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006.-72с.:ил. ISBN 5 7883-0406-7.
3. Иориш Ю. И. Виброметрия: Измерение вибрации и ударов: Общая теория, методы и приборы / Ю. И. Иориш. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. :Машгиз, 1963. - 771 с.

УДК 681.268; ГРНТИ 59.37.35

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА СЫПУЧИХ ВЕЩЕСТВ

А.И. Ерёмин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, eryomin95@list.ru*

Аннотация. В данной работе рассмотрим разработку устройства для измерения расхода сыпучих веществ.

Ключевые слова: расход сыпучего материала, расходомер.

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR MEASURING THE FLOW OF BULK SUBSTANCES

A.I. Eremin

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, eryomin95@list.ru*

The summary. In this paper, we consider the development of a device for measuring the flow of bulk substances.

Keywords: the flow rate of bulk material, flowmeter.

На сегодняшний день известно большое количество различных методов измерения расхода сыпучего вещества. На практике часто встречаются приборы, разбивающие непрерывный поток сыпучего материала на небольшие порции вещества – дозы, а затем измеряющие массу каждой порции с целью определения массы вещества, прошедшего за определенный промежуток времени. Такие приборы разрывают непрерывный поток продукта, что сказывается на увеличении износа оборудования, вследствие неравномерной нагрузки на его рабочие поверхности. Целью работы является разработка прибора для измерения расхода сыпучего материала, перемещаемого в трубопроводе, обеспечивающего неразрывность потока.

В сельскохозяйственной отрасли играет большую роль необходимость в измерении скорости движения (расхода) зерновых сыпучих материалов. Например, в настоящее время, промышленные предприятия характеризуются наличием непрерывного производственного процесса, в котором мгновенные расходы сыпучего вещества в потоке носят случайный характер. Регулирование загрузки машин оказывает значительное влияние на качество работы конвейеров и, соответственно, на качественные показатели готового сыпучего вещества. Поточная технология невозможна без использования систем автоматического регулирования, одним из важнейших элементов которых являются устройства измерения расхода сыпучих веществ. Величина расхода сыпучего материала предоставляет определить и откорректировать нагрузку всего оборудования, а также производить контроль производительности. Сыпучие материалы, перемещаемые внутри трубопроводов, представляют собой поток газа и частиц твердого вещества.

Приборы контроля расхода материалов используют для предоставления учета и дозирования сыпучих материалов, они именуется как расходомеры. Для организации такой измерительной системы необходимы надежные датчики, которые измеряют расход сыпучих веществ, работающих в условиях засоренности и запыленности, а также при высоком уровне вибрации [1].

Существуют различные типы расходомеров сыпучих веществ. Они применяются в разнообразных вариациях, зависящих от их достоинств и недостатков. Ниже представлены основные типы расходомеров, которые мы рассмотрим:

1. Ударный расходомер - для их применения необходимо создать с помощью труб траекторию движения вещества, которое будет ударяться об чувствительную пластину (рис.1).

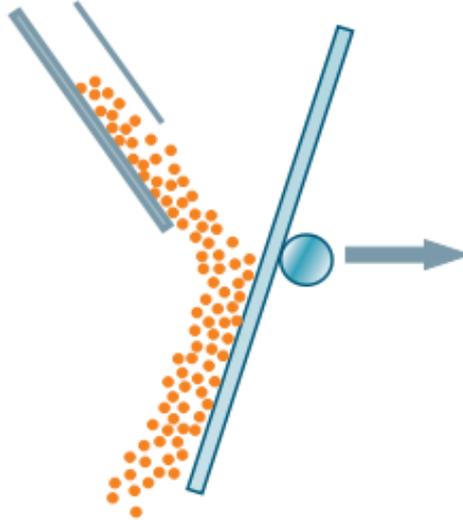


Рис. 1. Ударный расходомер

С помощью датчиков веса или линейных дифференциальных преобразователей производится измерение силы удара. Концепция заключается в том, что чем сильнее ударяет сыпучее вещество на пластину, тем мощнее будет сигнал. Преимуществом текущего метода является то, что они могут видоизменять как большие, так и малые расходы вещества. Остатки материала на пластине не повлияют на точность измерений, которые выполняются с относительной погрешностью не более 1%. Кроме того, ударные расходомеры обладают широким диапазоном измерений: 0-800 т/ч. Еще одним преимуществом данных расходомеров является то, что они могут быть весьма компактны. Так же можно выделить то, что изготовление ударных расходомеров очень трудоемкая задача, так как устройство измеряет расход в пыльной среде, и при этом должно иметь пыленепроницаемые корпуса. Помимо этого, данные расходомеры обладают достаточно простой очисткой и калибровкой [2].

2. Центробежный расходомер - является измененным видом ударного расходомера (рис. 2).

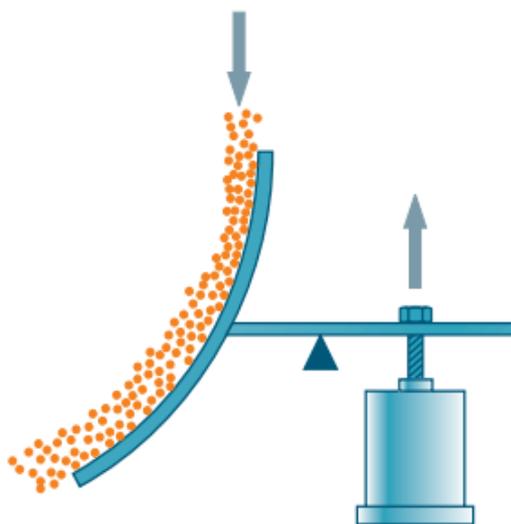


Рис. 2. Центробежный расходомер

Концепция центробежного расходомера основана на измерении силы, с которой воздействует сыпучий материал на изогнутую пластину, к которой прикреплены датчики веса. Направление потока измеряемого объекта должно быть параллельно пластине. Тогда при движении этого объекта по криволинейной траектории возникает тангенциальная сила, поступающая на интегратор. Интегратор переводит силу воздействия с помощью математического аппарата в расход вещества. Для сыпучих материалов центробежные расходомеры обладают одной из самых высоких точностей, но измеряемый материал не должен быть липким. В противном случае он будет налипать на пластину с высокой чувствительностью, и сигнал с данного расходомера будет смещаться. В этом случае измерение будет производиться как тангенциальное усилие. Следует отметить, что конструкция центробежного расходомера определяет предельный расход сыпучего вещества, но при этом может включать в себя пыленепроницаемые корпуса. Помимо этого, данные расходомеры обладают достаточно простой калибровкой [3].

При сравнении указанных расходомеров можно подвести итог о том, что принцип действия центробежных расходомеров является предпочтительным при разработке системы для подачи кормовых веществ в животноводстве. Преимуществами центробежных расходомеров являются:

- измеряемая величина - момент реактивных сил не зависит от физико-механических свойств продукта и начальной скорости частиц при постоянной скорости потока;
- точность не зависит от влажности продукта в пределах 10-20%.

Центробежные расходомеры зарекомендовали себя как надежные в работе устройства, которые имеют высокую точность и достаточно универсальны. Следовательно, стоит задача реализовать данный метод.

Принцип действия центробежного расходомера основан на измерении силы, с которой воздействует материал на изогнутую пластину. При этом датчик веса прикреплен к изогнутой пластине. Из известных датчиков веса выбран тензодатчик с модулем НХ711.

Тензорезистивный датчик представляет собой специальную упругую конструкцию с закреплённым на ней тензорезистором. После калибровки, по изменению сопротивления

тензорезистора можно вычислить степень деформации, которая будет пропорциональна силе, приложенной к конструкции (рис.3).

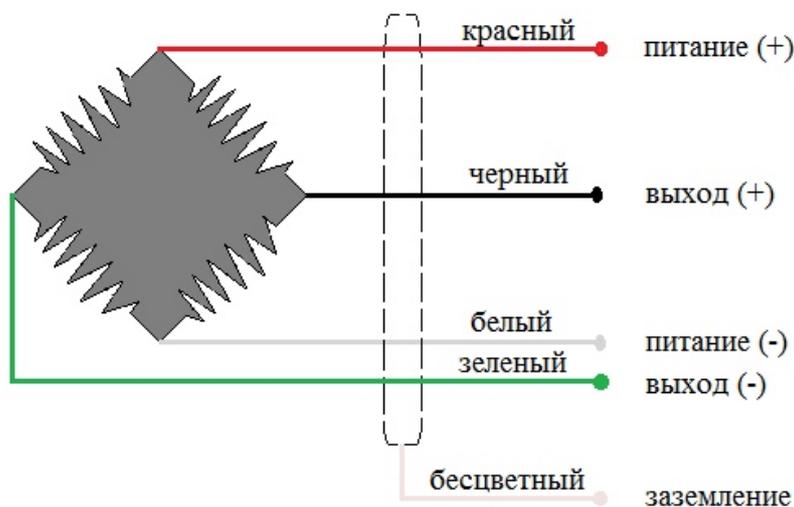


Рис. 3. Схема подключения тензорезистора

Направление потока измеряемого объекта должно быть параллельно пластине. Тогда при движении этого объекта по криволинейной траектории возникает тангенциальная сила, поступающая на модуль НХ711 на основе АЦП со встроенным усилителем НХ711 предназначен для получения данных с тензодатчика (датчика, преобразующих величину деформации в электрический сигнал). Основа модуля – специализированная микросхема НХ711, имеет АЦП с разрешением 24 бит, благодаря чему обеспечивается высокая точность измерений. Модуль имеет 2 канала А и В, к которым можно подключить два тензодатчика. Для канала А коэффициент усиления равен 64 или 128, для канала В коэффициент усиления равен 32. Модуль работает с частотой измерения 80 Гц.

Модуль переводит силу осуществляемого воздействия с помощью математического аппарата в расход вещества, конкретно на платформе Arduino (рис.4).

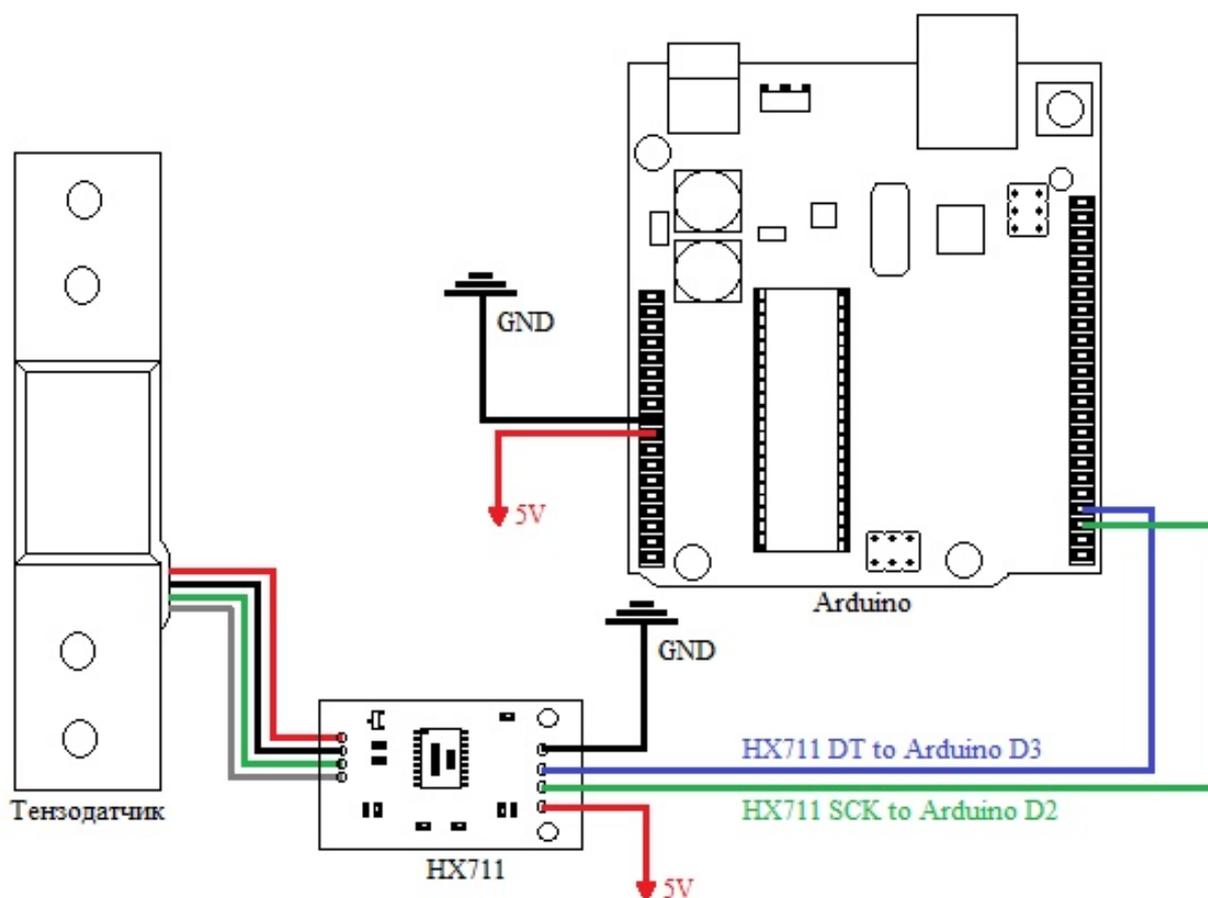


Рис. 4. Схема измерения расхода

Для сыпучих материалов центробежные расходомеры обладают одной из самых высоких точностей, но измеряемый материал не должен быть липким. В противном случае он будет налипать на пластину с высокой чувствительностью и сигнал с данного расходомера будет смещаться. В этом случае измерение будет производиться как тангенциальное усилие.

Основное преимущество такого расходомера заключается в том, что он не требуется ввода в трубопровод дополнительных устройств. Центробежные расходомеры зарекомендовали себя как надежные в работе устройства, которые имеют высокую точность и достаточно универсальны. Данные аспекты делают их перспективным для разработки систем различного назначения.

Библиографический список

1. Афонин В.С. Метод измерения расхода и его экспериментальная проверка / В.С. Афонин О.И. Хомутов // Ползуновский вестник. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ №3/1 2011. - С. 94-97.
2. Кремлевский, П. П. Расходомеры и счетчики количества: справочник / П. П. Кремлевский. – Л.: Машиностроение
3. Багаев А.А. Обоснование критерия выбора электродвигателя центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных продуктов / А.А. Багаев, Р.С. Чернущь // Ползуновский вестник. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ №2/1 2011. - С. 188-193

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ V-REP ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМА ИНВЕРСНОЙ КИНЕМАТИКИ

А.В. Кондрашов, С.С. Лукша

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, kondrashov170596@gmail.com*

Аннотация. В данном докладе рассмотрено исследование задачи обратной кинематики для управления робототехническим манипулятором KUKA YouBot, а также основные компоненты разрабатываемого алгоритма.

Ключевые слова: инверсная кинематика, метод градиентного спуска, манипулятор, интеллектуальное управление.

THE USE OF SOFTWARE ENVIRONMENT V-REP FOR THE RESEARCH OF THE ALGORITHM OF INVERSE KINEMATICS

A.V. Kondrashov, S.S. Luksha

*Ryazan state radio engineering University,
Russia, Ryazan, kondrashov170596@gmail.com*

Abstract. This paper is about the solution of the inverse kinematic problem for controlling the KUKA YouBot robotic manipulator, as well as the main components of the developed algorithm.

Keywords: inverse kinematics, gradient descent method, manipulator, intelligent control.

Разработка системы управления робототехническим манипулятором включает в себя решение двух основных задач [1]:

1. Решение прямой задачи кинематики – изначально известны углы поворота звеньев, по которым необходимо рассчитать конкретную точку в пространстве.

2. Решение обратной задачи кинематики – изначально известна точка в пространстве, по которой необходимо найти углы поворота каждого из звеньев.

Прямая задача кинематики заключается в определении положения конечного звена манипулятора при известных углах поворота сочленений. В данном случае одному вектору углов поворота будет соответствовать единственное расположение звеньев, а, следовательно, и единственная точка в пространстве.

Координаты положения каждого последующего сочленения напрямую зависят от положений предыдущих звеньев, а также от оси вращения самого звена.

Математически преобразование координат происходит путем использования матриц поворота.

Матрицы поворота вокруг осей X, Y, Z:

$$M_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ 0 & \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix}$$

$$M_y = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{pmatrix}$$

$$M_z = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Также необходимо учитывать габаритные размеры самого сочленения.
Итоговая формула для расчета координат положений звеньев:

$$\begin{aligned} p_1 &= M_1 \cdot l_1; \\ p_2 &= p_1 + M_1 \cdot M_2 \cdot l_2; \\ p_3 &= p_2 + M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot l_3; \\ p_4 &= p_3 + M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot M_4 \cdot l_4; \\ p_5 &= p_4 + M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot M_4 \cdot M_5 \cdot l_5, \end{aligned}$$

где M_i – матрица поворота i -го звена,

l_i – длина i -го звена.

Решение обратной задачи кинематики состоит в установлении соответствия между конечной точкой, которая задаётся как входной параметр, и соответствующим вектором углов поворота сочленений.

Трудность заключается в том, что одной точке в пространстве может соответствовать множество различных положений сочленений, что делает невозможным составление единственного кинематического уравнения.

Конкретная точка в пространстве, называемая целевой, позволяет использовать оценку близости к ней манипулятора с учетом текущей конфигурации соединений.

Расстояние до цели – это некоторая функция, минимизация которой является решением проблемы инверсной кинематики.

Подход к минимизации функции, который используется на данный момент – это метод градиентного спуска.

Разрабатываемый алгоритм управления моделью манипулятора KUKAYouBot включает в себя несколько этапов:

1. Установление сеанса обмена данными в среде программирования Matlab со средой симуляции V-REP посредством локальной сети.
2. Установка начальных значений углов поворотных устройств для задания исходного положения манипулятора.
3. Установка коэффициентов, используемых в методе градиентного спуска для задания необходимой точности и скорости достижения целевой точки.
4. Ввод целевой точки в виде координат X, Y, Z.
5. Итерационный расчет требуемых углов методом градиентного спуска:

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \gamma_i \left((x_c - x_i) \frac{\partial x}{\partial \theta_i} + (y_c - y_i) \frac{\partial y}{\partial \theta_i} + (z_c - z_i) \frac{\partial z}{\partial \theta_i} \right)$$

где x_c, y_c, z_c – координаты захвата;

x_i, y_i, z_i – координаты на текущем шаге.

6. Проверка совпадения рассчитанной и целевой точки осуществляется путем подстановки значений углов θ_i , полученных на текущей итерации в заранее известное уравнение прямой кинематики. Если разность их координат меньше или равна установленной погрешности уточнение θ_i прекращается и точка интереса считается достигнутой.

7. Передача команд на модель манипулятора:

8. Завершение сеанса обмена данными между средой симулирования и средой программирования.

Исследования разработанного алгоритма показали, что помимо ограничений на углы поворота необходимо ввести ограничения на задание целевой точки, которую манипулятор должен физически достигать.

Первое условие определяет расстояние до заданной точки и сравнивает его с максимально достижимым. В случае, когда точка недостижима, команды на модель не передаются и выводится ошибка.

Второе условие ограничивает введение точек, приводящих к саморазрушению робота. В данном случае, когда целевая точка является внутренней точкой самого манипулятора, команды на модель также не передаются и выводится ошибка.

Пространственное расположение манипулятора в среде V-REP, достигнутое разрабатываемым алгоритмом и соответствующее введенной целевой точке с координатами (0.2, 0.2, 0.2), представлено на рис. 1.

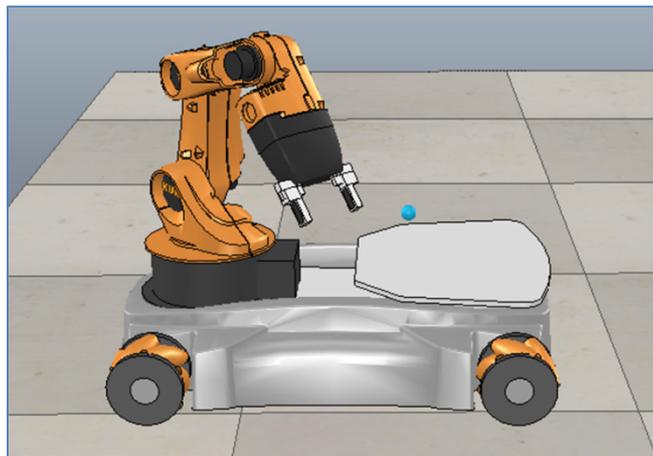


Рис. 1. Моделирование работы манипулятора KUKA youBot

Исследование разрабатываемого алгоритма управления робототехническим манипулятором в программной среде V-REP выявило следующие недостатки:

1. Неадаптивный коэффициент, управляющий скоростью удаления от возрастающего градиента.

2. Низкая сходимость решения.

Целью дальнейшей работы является исследование различных алгоритмов минимизации, а также разработка алгоритмов траекторного управления и распознавания объектов интереса.

Библиографический список

1. Евстигнеев Д.В. Проектирование роботов и робототехнических систем в Dyn-SoftRobSim 5. Часть I. М.: 2014.

2. Вукобратович М., Стокич Д., Кирчански Н. Неадаптивное и адаптивное управление манипуляционными роботами. М.: Мир, 1989.

УДК 616-71; ГРНТИ 76.13.25

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ГЛЮКОЗЫ В КРОВИ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНОГО ПРИБОРА

Т.П. Муранова, С.Г. Гуржин

Рязанский государственный радиотехнический университет, г. Рязань

Аннотация. Предложена блок-схема виртуального прибора для неинвазивного измерения уровня глюкозы в крови.

Ключевые слова: неинвазивный, глюкоза, инфракрасная спектроскопия, виртуальный прибор.

IMPLEMENTATION OF THE SYSTEM FOR MEASURING BLOOD GLUCOSE LEVEL BASED ON A VIRTUAL DEVICE

T.P. Muranova, S.G. Gurzhin

Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan

Annotation. A block diagram of a virtual instrument for non-invasive blood glucose measurement is proposed.

Keywords: non-invasive, glucose, infrared spectroscopy, virtual instrument.

Определение уровня глюкозы в крови неинвазивным способом возможно с помощью оптических методов. Целью данного исследования является разработка виртуального прибора для измерения уровня глюкозы в крови. На основании сравнительного анализа неинвазивных методов определения уровня глюкозы в крови, проведенного авторами в статье [1], был выделен метод инфракрасной спектроскопии ближнего диапазона действия, основанный на анализе спектров поглощения оптического излучения глюкозы, воды и меланина (рисунок 1).

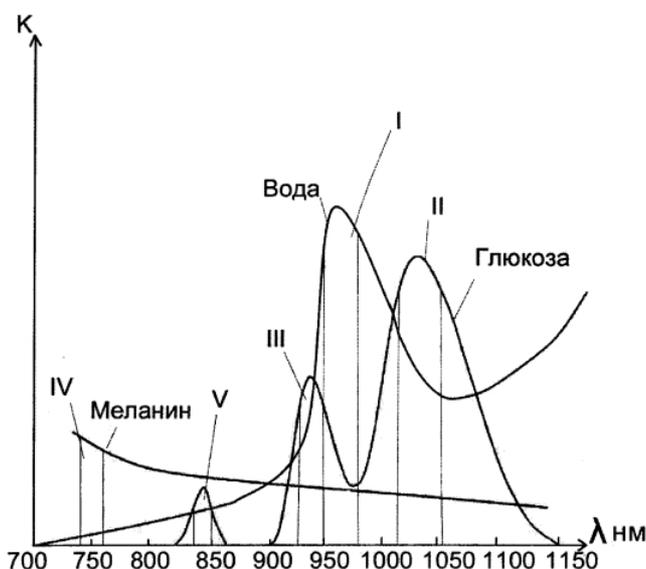


Рис. 1. Спектры поглощения оптического излучения веществ

Спектр поглощения оптического излучения глюкозы в ближнем инфракрасном диапазоне длин волн имеет выраженные максимумы вблизи длин волн 1040 нм, 940 нм и 840 нм.

На основе данного метода была разработана функциональная схема системы неинвазивного измерителя уровня глюкозы в крови и предложена конструкция

измерительного зонда[2].

Для реализации измерительного зонда используем быстродействующие узкоугольные инфракрасные светодиоды в 5 мм корпусе-линзе и углом обзора 6 градусов ($\pm 3^\circ$) пяти различных диапазонов: TSHG8200 (длина волны 830-850 нм), TSUS4300 (950-970 нм), VSLB3940 (930-950 нм), IR-740-524N1 (740-760 нм), OIS-150-1020 (1020-1060 нм) и фотодиод BPW34 с высокой скоростью и высокой светочувствительностью в миниатюрном, плоском и прозрачном корпусе, чувствительный к оптическому излучению в диапазоне длин волн от 740 нм до 1060 нм.

LED-драйвер управления светодиодами с функцией диммирования на основе PT4115 позволяет подавать питание на светодиоды в необходимой последовательности, управлять яркостью и длительностью свечения.

Формирование и регулирование светового потока осуществляется программно виртуальным прибором по интенсивности и распределению во времени с помощью модуля сбора данных NI USB-6008/6009. Аналоговый электрический сигнал, который нормализуется и преобразуется в код в модуле сбора данных далее обрабатывается ПК алгоритмами виртуального прибора с наглядной визуализацией процесса измерения и обработки.

Для разработки ВП используем программу LabView - среду создания программ для сбора, обработки, визуализации информации, оснащенную встроенными библиотеками необходимых элементов. Блок-схема виртуального прибора представлена на рисунке 2.

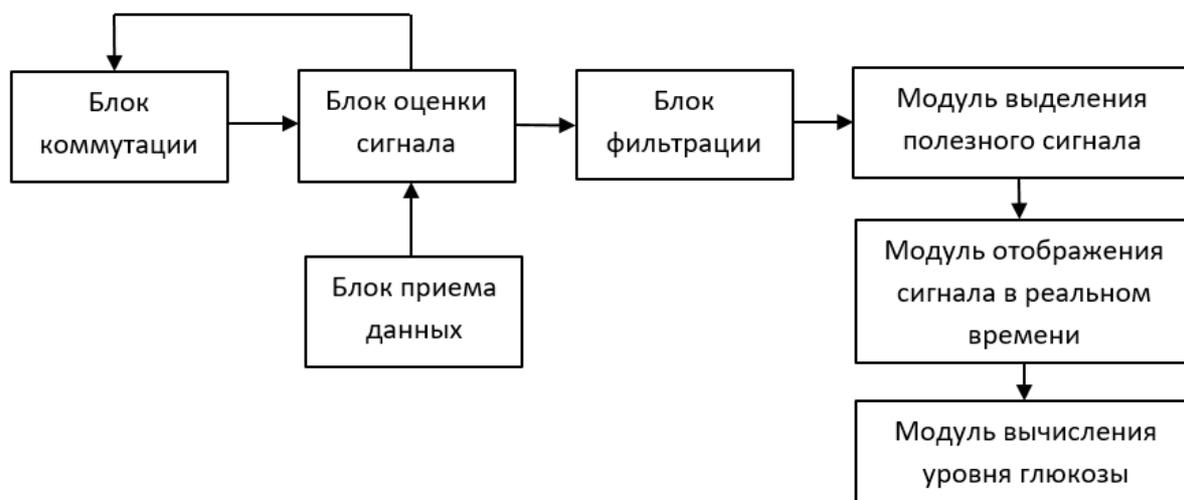


Рис. 2. Блок-схема виртуального прибора для измерения уровня глюкозы в крови

Блок фильтрации позволит уменьшить влияние внешнего освещения, которое исказит информацию о количестве отраженного света, и других внешних помех. Блок коммутации предназначен для включения пяти светодиодов в определенной последовательности с заданной длительностью, а также синхронизации приема отраженного сигнала фотодиодом. Блок оценки сигнала включает в себя оценку сигнала, полученного от блока приема сигнала, и передачу информации о корректировке работы блока коммутации.

В модуле выделения полезного сигнала происходит обработка сигнала, при которой из показателей из суммы электрических сигналов диапазонов, где расположены максимумы спектров поглощения глюкозы, вычитаются электрические сигналы диапазонов, где расположены максимумы спектров поглощения воды и меланина.

Модуль отображения сигнала в реальном времени позволяет наблюдать сигналы до и после обработки, а блок вычисления уровня глюкозы производит математическую обработку

полученных значений.

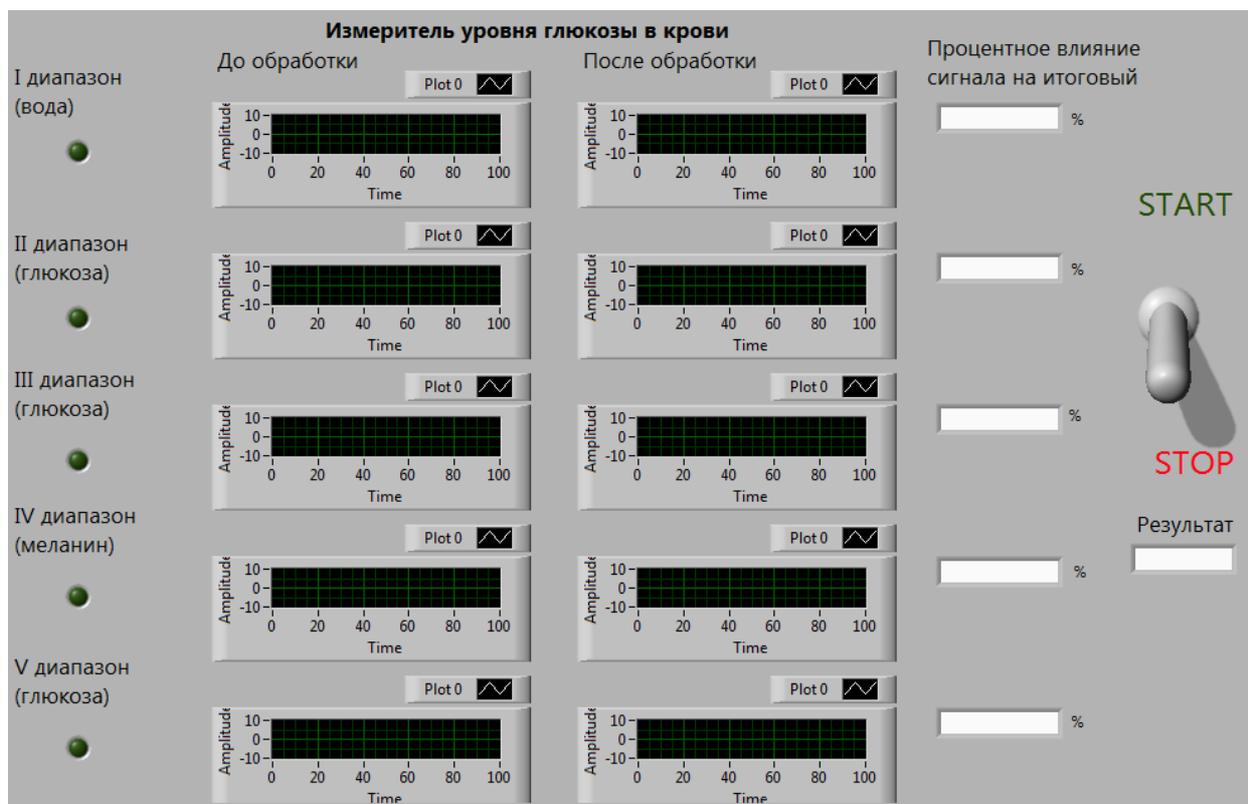


Рис. 3. Лицевая панель виртуального прибора для измерения уровня глюкозы в крови

Лицевая панель виртуального прибора для измерения уровня глюкозы в крови представленная на рисунке 3, предназначена для управления работой прибора и позволяет наблюдать как за сигналами до и после обработки в режиме реального времени, так и за процессом, начиная с включения светодиодов и заканчивая выводением результата.

В ходе данного исследования был выполнен подбор физических элементов для реализации измерительного зонда, выбран драйвер управления светодиодами, разработана блок-схема виртуального прибора и определена программа для его разработки.

Библиографический список

1. Муранова Т.П., Гуржин С.Г. Принципы построения оперативного неинвазивного измерителя уровня глюкозы в крови // Сб. тр. XXX Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол.ученых и спец. «Биомедсистемы-2017». – Рязань: ИП Коняхин (BookJet), 2017. – 612 с. С. 185-187.
2. Муранова Т.П., Гуржин С.Г. Принципы обработки сигнала при неинвазивном измерении уровня глюкозы с использованием метода инфракрасной спектроскопии // сб. тр. XXXI Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол.ученых и спец., 4-6 декабря 2018 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (BookJet), 2018. – 520с., С. 367-380.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

АЛГОРИТМЫ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОСАДКИ СУДНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ КОРАБЕЛЬНЫХ РЕФЛЕКТОМЕТРИЧЕСКИХ УРОВНЕМЕРОВ

К. И. Колбенева

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, kolbenewa.ksenia@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются алгоритмы оценивания параметров посадки судна. Раскрывается алгоритм применения рефлектотметрических уровнемеров в данном вопросе.

Ключевые слова: контроль посадки судна (ПО КПС), рефлектотметрия, отраженный сигнал, волноводная технология.

ALGORITHMS FOR ESTIMATING THE PARAMETERS OF LANDING THE SHIP BASED ON THE RESULTS OF MEASUREMENTS OF SHIP REFLECTOMETRIC LEVELS

K. I. Kolbeneva

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, kolbenewa.ksenia@yandex.ru*

The summary. The paper discusses the algorithms for estimating the landing parameters of the vessel. The algorithm of the use of reflectometric level gauges in this question is revealed.

Keywords: control of the landing of the vessel, reflectometry, reflected signal waveguide technology.

Обеспечение плавучести и остойчивости судна - одна из наиболее важных и сложных проблем в судостроении. Для ее решения применяется система программного обеспечения контроля посадки судна (ПО КПС) в сопряжении с комплексом управления судном. Основной целью является разработка алгоритмов определения параметров посадки судна и расчета водоизмещения судна по параметрам посадки. Посадкой судна называется его положение относительно поверхности воды. Посадка определяется тремя параметрами: осадкой на миделе, углом крена и углом дифферента. На сегодняшний день в промышленных системах реализовано лишь небольшое число методов контроля этих параметров, позволяющих получать достоверную и точную информацию.

Рассмотрим укрупненную блок-схему ПО КПС [1], представленную на рисунке 1.

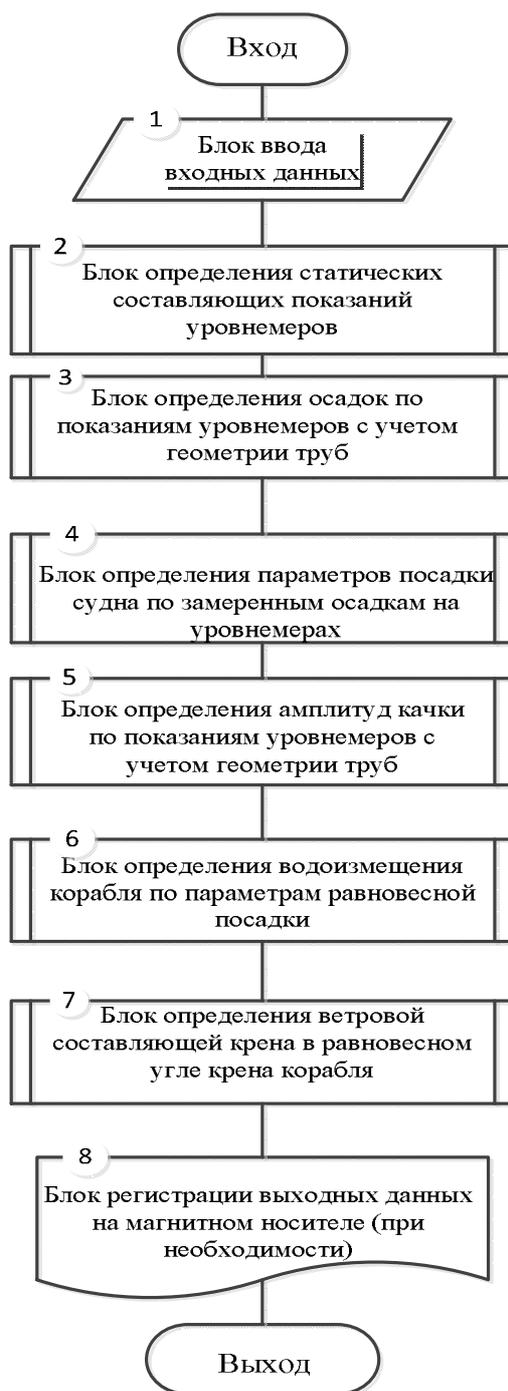


Рис. 1. Блок-схема ПО КПС

В докладе подробнее будет рассмотрена работа блока №3, связанного с определением осадок по показаниям уровнемеров.

Принцип действия уровнемеров основан на технологии рефлектометрии. Микроволновые наносекундные радарные импульсы малой мощности направляются вниз по погруженному зонду. Когда радарный импульс достигает среды с другим коэффициентом диэлектрической проницаемости, часть энергии импульса отражается в обратном направлении. Разница во времени между моментом передачи радарного импульса и моментом приема эхосигнала пропорциональна расстоянию, согласно которому рассчитывается уровень воды или уровень границы раздела двух сред (рисунок 2) [2].



Рис. 2. Схема установки уровнемера

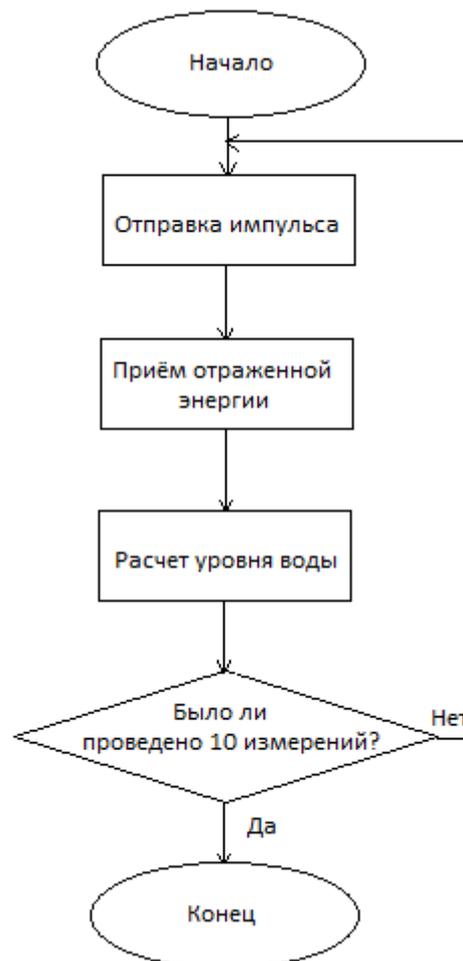


Рис. 3. Алгоритм измерения

Алгоритм измерения (рисунок 3) разбивается на следующие части [3]:

1. Короткий импульс микроволновой энергии посылается по зонду через узел крепления антенны.
2. Импульс распространяется вдоль зонда и, в случае обнаружения неоднородности, такой как поверхность воды, часть энергии импульса отражается и возвращается к узлу крепления зонда.
3. Когда отраженная энергия достигает узла крепления, электронный датчик фиксирует ее. После измерения времени между испусканием первоначального импульса и приемом отраженного рассчитывается уровень воды.
4. Микроволновая энергия распространяется по зонду со скоростью света, поэтому полный цикл измерения состоит из нескольких тысяч импульсов. Прибор использует представление амплитуды отраженного сигнала во времени, чтобы реконструировать форму сигнала в реальном времени, но на более низкой скорости, достаточной для его обработки микропроцессором. Этот процесс можно сравнить с использованием стробоскопического эффекта для наблюдения вращающейся на высокой скорости детали с помощью стробирующего светового сигнала.
5. Цикл измерения повторяется 10 раз в секунду и обрабатывается с помощью специальных методов фильтрации для обновления значения выходного сигнала, пропорционального уровню воды.

Волноводная технология имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами измерений уровня, поскольку радарные импульсы практически невосприимчивы к составу воды, погодным условиям, температуре и давлению.

Таким образом, выбрав волноводную технологию, возможно проводить определение параметров посадки судна и расчета водоизмещения судна по параметрам посадки в любых условиях с минимальной погрешностью.

Библиографический список

1. Правила классификации и постройки морских судов. Российский морской регистр судоходства. – СПб.: Транспорт, 2015 г.–Т.1.–502 с.
2. Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике: учеб.-практ. пособие / А.В. Калинин, Н.В. Уваров, В.В. Дойников; под ред. А.В. Калинин. – М.: Инфра-Инженерия, 2008–574 с.
3. Адаптивная обработка сигналов — Уидроу Б., Стирнз С. Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1989. — 440 с.

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О ПОЛОЖЕНИИ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕГО ПРОСТРАНСТВА

М.Ю. Акамеев

*Рязанский государственный радиотехнический университет
Россия, Рязань, maksim.akameev@mail.ru*

Аннотация. В настоящей работе рассматриваются и исследуются алгоритмы одновременной локализации и картографирования, также проанализированы результаты исследования алгоритмов *gmappingslam* и *hectorslam* алгоритмов, выявлены их положительные стороны и недостатки, разработан *factorgraphs* алгоритм. На базе роботизированного транспортного средства были проведены испытания разработанного алгоритма, в ходе которых выявлены его плюсы и минусы и направления для дальнейшего улучшения и развития.

Ключевые слова: SLAM, factor-graphslam, gmapping, hectorslam, построение карты, определение местоположения.

ESTIMATION OF PARAMETERS OF MOBILE ROBOT MOVEMENT ON THE BASIS OF DATA ON THE POSITION OF OBJECTS OF THE SURROUNDING SPACE

M.Y. Akameev

*Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, maksim.akameev@mail.ru*

Abstract. This paper is about algorithms of simultaneous localization and mapping, also analyzed the results of the gmapping slam and hector slam algorithms, identified their advantages and disadvantages, the factor graph slam algorithm is developed. Developed algorithms were tested on the robotic vehicle during which its pros and cons and directions for further improvement and development were revealed.

Keywords: SLAM, factor-graph slam, gmapping, hector slam, map building, location determination.

Введение

Одной из ведущих наук в современном мире является робототехника. Это дисциплина, которая занимается разработкой автоматизированных технических систем и внедрением их в различные сферы деятельности: медицина, спасательные службы, промышленность и т. д.

Автономное функционирование роботов – наиболее перспективная и изучаемая область робототехники на сегодняшний день. Эта функциональная возможность внедряется во многие сферы деятельности человека и возможно скоро полностью заменит труд людей в определенных отраслях производства и науки.

Для решения задачи автономного управления, необходимо, чтобы робот самостоятельно определял свое текущее местоположение в пространстве и строил карту. Но в данной ситуации существует определенная трудность, связанная с тем, что для вычисления своих координат роботу нужна карта местности, а для построения этой карты нужны данные о местоположении робота. Иными словами эти два процесса взаимосвязаны и не могут существовать друг без друга. Единственным выходом из подобного «замкнутого круга» является одновременное решение этих двух задач.

Возможные пути решения и имеющиеся аналоги

Поставленную задачу можно решить с помощью методов SLAM (simultaneous localization and mapping - одновременная локализация и картографирование). SLAM – это группа методов, используя которые робот может строить карту окружающей среды и в то же время использовать ее для определения собственного местоположения в пространстве.

Существует множество реализаций SLAM алгоритмов, основанных на различных методах. Например, одной из категорий является 3D SLAM, основанный на использовании данных, представляющих собой облако точек. В данной работе был рассмотрен 2DSLAM алгоритм, работающий соответственно с 2D картой.

На сегодняшний день одними из самых распространенных реализаций 2D SLAM алгоритма являются gmapping-slam и hector-slam.

Gmapping-slam позволяет построить 2D карту местности на основе данных, полученных роботом с лазерного сканера и одометрии транспортного средства (координат робота в текущий момент времени) – рисунок 1.

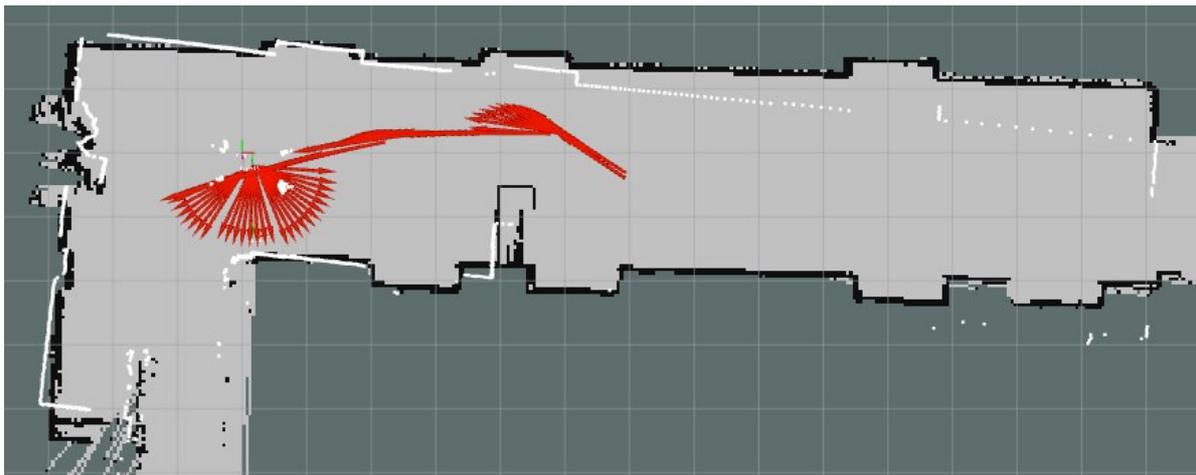


Рис. 1. Карта проходимости, построенная с помощью алгоритма gmapping

Hector-slam в своей реализации отличается от предыдущего алгоритма тем, что построение 2D карты окружающей местности (рис. 2) осуществляется только на основе данных, полученных с лазерного сканера, то есть отсутствуют данные одометрии.

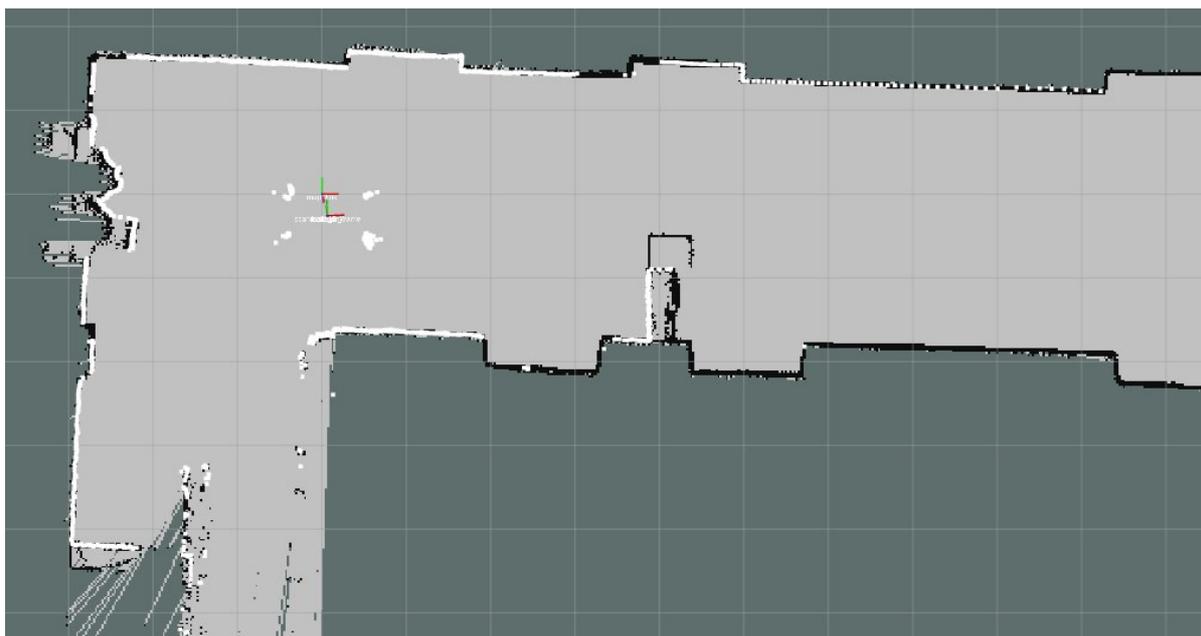


Рис. 2. Карта проходимости, построенная с помощью hectorslam алгоритма

Но у каждого алгоритма есть свои преимущества и недостатки. Например, безусловным плюсом gmapping-slam алгоритма является его высокая точность оценки местоположения робота и составления карты местности, так как в этом случае происходит сопоставление данных, полученных с лазерного сканера и одометрии. Однако подобный алгоритм достаточно сложный в своей реализации и требует от разработчика немало сил и знаний.

Касательно hector-slam алгоритма необходимо отметить, что его точность хуже, чем у gmapping-slam, так как в данной реализации не используется одометрия. Разница между координатами начала движения роботизированного транспортного средства и его конечным местоположением составляет 44 сантиметра, в то время как данный показатель у gmapping-

slam алгоритма равен 40 сантиметрам. Несмотря на то, что лазерный сканер достаточно точно определяет местоположение объектов в окружающем пространстве, использование дополнительных данных с одометрии все же улучшает качество оценки позиционирования робота.

Разработанный алгоритм

Учитывая все плюсы и минусы реализаций SLAM, приведенных выше, было принято решение разработать factor-graphslam алгоритм, представляющий собой граф, на котором изображены все местоположения робота в пространстве, внешние навигационные ориентиры, обнаруженные в различные моменты времени, а также связи между ними.

Данный алгоритм подобно gmapping-slam сопоставляет данные, полученные с одометрии и лазерного сканера, а также для улучшения качества данных о текущем местоположении производится поиск внешних навигационных ориентиров в окружающем пространстве. На рисунке 3 представлены внешние навигационные ориентиры и их связи с текущим положением робота, а на рисунке 4 - карта, полученная с помощью разработанного алгоритма.

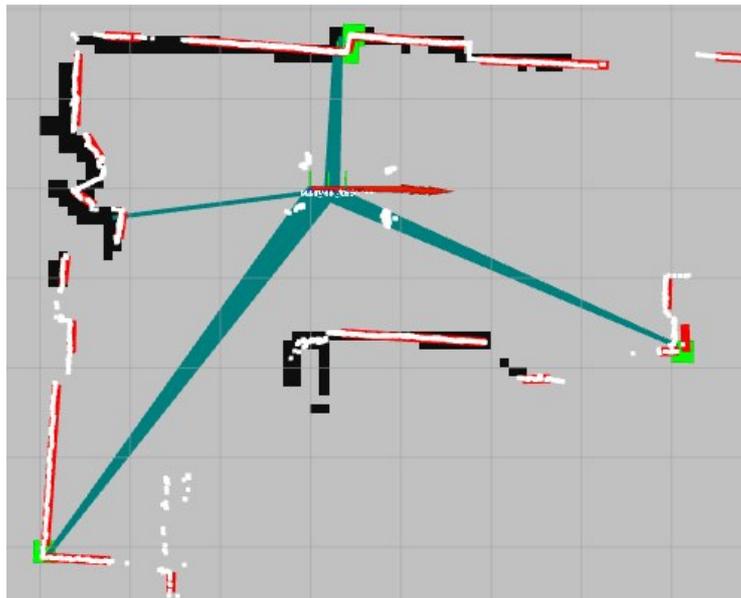


Рис. 3. Внешние навигационные ориентиры и их связи с текущим положением робота



Рис. 4. Карта помещения, полученная с помощью factor-graphslam алгоритма

Выводы по итогам исследований

Тема, рассмотренная в данной работе, очень актуальна на сегодняшний день, так как подобные проекты разрабатываются во многих странах мира достаточно крупными IT компаниями. SLAM алгоритмы начинают внедряться в сферы производства и науки, и с развитием технологий этот процесс будет только расти.

Factor-graphslam алгоритм, разработанный и предназначенный для построения карты проходимости окружающего пространства и определения местоположения робота, показал свою эффективность, сравнимую с такими алгоритмами как gmappingslam или hectorslam. Расстояние между координатами точки начала движения робота и его конечным положением по завершении процесса обработки данных составляет 35 сантиметров при длине пройденного пути около 25 метров. Такая точность реализации factor-graphslam алгоритма была достигнута во многом за счет одновременного использования данных, полученных с одометрии робота и лазерного сканера, установленного на нем.

Для отличной и безошибочной работы данного алгоритма предстоит еще немало работы. Так, например, следует решить проблему распознавания динамических препятствий и определить способы реагирования на них, ну и конечно адаптировать factor-graphslam алгоритм для построения 3D карты окружающего пространства.

Библиографический список

1. Домарев В. В. Безопасность информационных технологий. Системный подход. К.: ООО «ТИД ДС», 2006. – 992 с.
2. Pinliang Dong, Qi Chen. LiDAR Remote Sensing and Applications. – Oakville: Apple Academic Press Inc, 2017 – 200 p.
3. Jing Dong. GTSAM 4.0 Tutorial. Theory, Programming, and Applications. Georgia: Institute for Robotics Tech and Intelligent Machines. – 2016. – P. 4-7.
4. Frank Dellaert. Factor Graphs and GTSAM: A Hands-on Introduction. - Georgia: Institute for Robotics Tech and Intelligent Machines. – 2012. – P. 2-10.

УДК 62-93; ГРНТИ 45.01.05

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ ВЛИЯЮЩИХ НА ВЫБОР МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ АКУСТИЧЕСКИМИ ДАТЧИКАМИ

О.И. Чудин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, sommer2033bv@yandex.ru*

Аннотация. В данном докладе рассмотрены параметры, влияющие на определение уровня при проектировании ультразвуковых измерительных систем.

Ключевые слова: определение нестационарного уровня, ультразвук, проектирование ультразвуковых измерительных систем, влияние среды на распространение ультразвука.

ABOUT PARAMETERS INFLUENCING THE METHOD OF DETERMINING A NON-STATIONARY LEVEL BY ACOUSTIC SENSORS

O.I. Chudin

*Ryazan State University of Radio Engineering,
Russian Federation, Ryazan, sommer2033bv@yandex.ru*

The summary. The paper discusses the parameters that affect the determination of the level when designing ultrasonic measuring systems.

Keywords: determination of non-stationary level, ultrasound, design of ultrasonic measuring systems, the influence of the medium on the propagation of ultrasound.

Существующие измерительные системы, использующие ультразвук различны по конструкции и назначению. Применяются, как и специализированные установки и комплексы, разработанные исключительно под конкретную задачу, так и системы более широкого применения. И в том и другом случаях именно условия применения, способ измерения и ряд других параметров, обуславливают конструкцию приборов и систем.

В статье рассматривается вопрос оценки параметров среды, влияющих на выбор метода измерения уровня акустическими датчиками.

Виды неустойчивостей

При определении уровня выделяют два основных вида не стационарности – это крен самой ёмкости и состояние зеркала среды. В первом случае, влияние погрешности устраняется расположением нескольких датчиков на определённом расстоянии друг от друга. В случае с определением состояния поверхности наиболее простым и эффективными методами являются метод усреднения корней и подбор частоты УЗ излучения [2].

Обоснование выбора места расположения излучателя и приёмника УЗВ

Определение уровня возможна двумя способами, а именно определение столба жидкости, т.е. при расположении датчиков на дне ёмкости, и определение незаполненного объёма, т.е. при расположении датчиков на крышке бака. Поскольку у дна возможно скопление осадков, что в свою очередь приведёт к изменению плотности среды у мембраны датчика, что неизбежно скажется скорости ультразвука и как следствие приведёт к неточности измерения. Так же возможно налипание на мембрану датчика различных фракций, которые могут содержаться в составе жидкости, это может послужить причиной неправильного функционирования преобразователя УЗВ или выходу датчика из строя. При расположении датчиков вверху бака, на точность будут оказывать влияние такие факторы как температура парогазовой смеси и её плотность. В связи с выше изложенным делаем вывод о том, что расположение датчиков в верхней части ёмкости более предпочтительно, поскольку

компенсация помех, возникающих при таком расположении более проста, так же к плюсам можно отнести простоту монтажа и обслуживания УЗ преобразователей. При крене ёмкости повышение точности определение уровня возможно при установке нескольких излучателей и приёмников УЗВ, главным вопросом остаётся количество и место расположение. Возьмём в качестве примера цилиндрический бак, высотой h и площадью основания S , объём бака $V = S * h$. Поскольку площадь основания будет постоянной ($S=const$), определение уровня целиком зависит от высоты столба жидкости. При крене бака, уровень жидкости в разных точках будет отличаться, в связи с чем, при установке только одного датчика, определение уровня будет сопровождаться значительной погрешностью. Чтобы точно определить уровень достаточно 3-х излучателей и приёмников УЗВ, расположение которых представлено на рисунке 1. Большее количество в данном случае ведёт к усложнению конструкции и как следствие увеличивает вероятность выхода из строя системы при этом увеличение точности будет весьма незначительно [5]. Для более компактного размещения датчиков их необходимо размещать на одинаковом расстоянии R от центра поверхности и на одинаковом угловом расстоянии друг от друга, а именно 120° . При крене ёмкости на угол α , высота столба h_{cp} будет определяться, как среднее значение по формуле:

$$h_{cp} = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3}$$

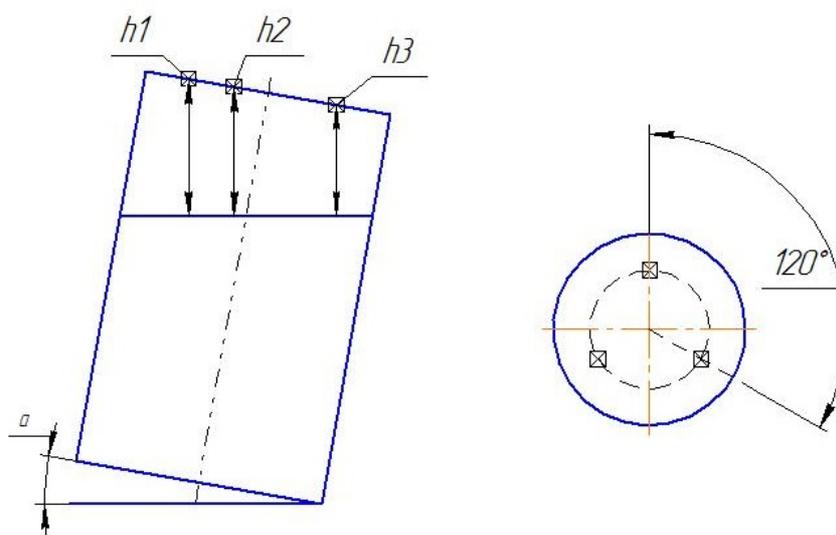


Рис. 1. Точки расположения датчиков

При построении трёхканальных систем, возникает необходимость компенсации помех эхо-сигналов, вызванных как одновременной работой измерительных каналов (ИК), так и ложными срабатываниями из-за наличия шумов. Для того чтобы одновременно работающие ИК не навели погрешность друг на друга, необходима настройка приёмников в резонанс на определённую частоту, к примеру, с шагом 1 кГц для каждого ИК, что позволит достаточно эффективно отсеивать помехи и обрабатывать эхо-сигнал. Входные же шумы компенсируются фильтрами, обрабатывающими сигнал с приёмника УЗВ [4].

Способы компенсации поверхностных неустойчивостей

Одним из таких способов является разрушение пены ультразвуковыми колебаниями. может применяться для гашения пены легковоспламеняющихся жидкостей. Ультразвуковой

способ гашения пены заключается в направлении акустических колебаний высокой (более 130 дБ) интенсивности в зону образования пены. Знакопеременное УЗ поле наиболее активно воздействует на верхние (открытые) слои пены, поскольку вглубь проникает слабо из-за большого затухания. При высоких интенсивностях УЗ воздействия знакопеременные силы достигают значений, при которых происходит разрыв пленки пены. Для различных пен существует пороговая интенсивность колебаний, при которой происходит ее разрушение. Стойкость пены к звуковому воздействию зависит от структуры пены. Пены, состоящие из крупных пузырей, как правило, легко и быстро разрушаются при невысоких интенсивностях. Пены, состоящие из мелких пузырей, более стойки к воздействию акустических полей и требуют большей интенсивности. В настоящее время для реализации такого способа используются аэродинамические излучатели, выполненные в виде статических и динамических сирен, пневматических рупоров и обеспечивающие преобразование кинетической энергии газового потока в энергию акустических колебаний [1]. Так же при баках малых объемов возникает погрешность, вызванная рябью на поверхности жидкости. Данную погрешность можно компенсировать количеством посылок УЗВ в ограниченный промежуток времени. Аналогичный принцип применим и для небольших волн в боках средней и большой ёмкости.

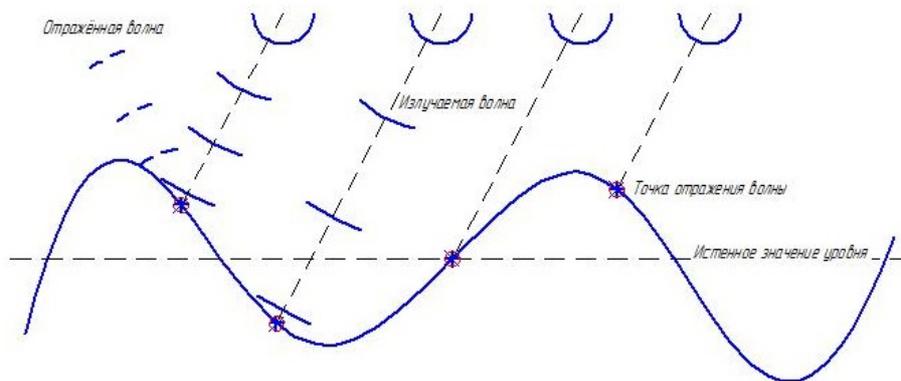


Рис. 2. Отражение посылок УЗ импульсов

Но более точным методом является следующий. После измерения временного интервала между излученным и принятым сигналами производят преобразование входного аналогового сигнала в цифровой код с частотой, не менее чем в десять раз превышающей частоту входного сигнала, запоминают его, определяют не менее трех точек минимума и трех точек максимума в соседних периодах запомненного сигнала, строят одну огибающую входного сигнала по этим точкам максимума и вторую огибающую входного сигнала по этим точкам минимума, определяют временную координату точки пересечения этих огибающих, которую принимают за начало эхо-импульса и используют при определении расстояния до отражающей поверхности [4]. Если среда, в которой происходит распространение ультразвука, обладает вязкостью и теплопроводностью или в ней имеются другие процессы внутреннего трения, то при распространении волны происходит поглощение звука, то есть по мере удаления от источника амплитуда ультразвуковых колебаний становится меньше, так же, как и энергия, которую они несут. Величину поглощения можно характеризовать коэффициентом поглощения, который показывает, как изменяется интенсивность ультразвука в облучаемой среде. С ростом частоты коэффициент поглощения увеличивается [6]. Для того чтобы поглощение и рассеивание УЗВ оказывали минимальное влияние на результат измерения и точность сохранялась в необходимых пределах для предполагаемого диапазона измерения определяют необходимую мощность излучателя. Для снижения рассеивания

выбирается излучатель с оптимальной шириной фронта распространения ультразвукового сигнала.

Структурная схема уровнемера

С учётом выше озвученных параметров составим структурную схему 3-х канального ультразвукового уровнемера [3].



Рис. 3. Структурная схема 3-х канального ультразвукового уровнемера

Измерительные каналы (ИК1, ИК2, ИК3) выполняют функции излучателя и приёмника ультразвуковых волн, располагаясь в верхней части бака. Блоки питания, управления и индикатор расположены вне ёмкости. Блок управления отвечает за генерацию сигнала необходимой частоты для каждого ИК и обрабатывает принятый сигнал от ИК, выводя информацию на индикатор. Блок питания обеспечивает автономное питание всего устройства.

Выводы

Для учёта рассмотренных факторов необходимо:

- Применение трёх измерительных каналов с отдельной резонансной частотой для каждого.
- Для компенсации помех вызванных налипанием фрагментов среды на поверхности датчика и для упрощения эксплуатации, необходимо размещать преобразователи в верхней части ёмкости.
- Для исключения погрешности вызванной неоднородностью поверхности среды (рябь пенообразование волны) и поглощения ультразвуковых волн средой, в которой они распространяются необходимо подбирать датчики УЗВ с достаточной мощностью и более узким фронтом распространения УЗВ.

Библиографический список

1. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Галахов А.Н. Разработка ультразвукового оборудования для разрушения пен и исследование его функциональных возможностей, - г. Бийск, ФГБОУ ВПО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова.
2. [Электронный ресурс] <http://kipiavp.ru/info/izmerenie-urovnya-jidkosti.html>
3. [Электронный ресурс] http://www.eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika_1520.html
4. [Электронный ресурс] <http://www.findpatent.ru/patent/238/2389981.html>
5. Патент РФ №2129703, МПК G01F 23/28, опублик. 27.04.1999
6. [Электронный ресурс] <https://studfiles.net/preview/1742616/page:3/>

УДК 621.311

О ПРИМЕНИМОСТИ МОДЕЛИРОВАННОГО МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ НЕЙРОДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЧЕЛОВЕКА

П.М. Шоназаров

Южно-Уральский Государственный Университет

Российская федерация, Челябинской области, г. Челябинск.shohin900@mail.ru

Аннотация. В настоящее время остро встает проблема лечения заболеваний, связанных с нарушениями работы глубинных структур головного мозга. К таким заболеваниям относятся: болезни Паркинсона и Альцгеймера, рассеянный склероз и др. В стране и за рубежом нет эффективных методов их лечения. Приведем факты, которые подтверждают серьезность и актуальность проблемы нейродегенеративных заболеваний (НДЗ) [2]:

- во всем мире насчитывается 435,6 миллиона людей с НДЗ, в России 1,8 миллиона;
- по прогнозам, общее число людей с деменцией будет почти удваиваться каждые 20 лет и составит 65,7 миллиона человек в 2030 году и 115,4 миллиона — в 2050 году;
- согласно данным Всемирной организации здравоохранения, в мире общее число людей, страдающих болезнью Паркинсона, составляет около 3,7 млн., в России около 300 тыс.;
- за последнее десятилетие смертность от болезни Альцгеймера выросла на 68%, в то время как от других значимых болезней снизилась (ВИЧ – на 42%, инсульт – на 23%, заболевания сердца – на 14%);

Механизм развития НДЗ, при которых происходит разрушение (дегенерация) нейронов некоторых отделов нервной системы, до конца не ясен. Существующие теории: генетическая, окислительного стресса и интоксикационная, ориентированы, главным образом, на объяснение процессов, завершающего этапа их развития. Основные причины НДЗ до сих пор не установлены. Именно поэтому эти заболевания пока неизлечимы.

Ключевые слова: электромагнитных излучений, микроволновая терапия, радиовибрационный эффект, высокочастотное модулированное излучение, клеточного метаболизма, разработка устройства.

ABOUT THE APPLICABILITY OF MODELED MICROWAVE RADIATION OF THE SUN FOR PREVENTION AND TREATMENT OF NEURODEGENERATIVE HUMAN DISEASES

Shonazarov P.M.

South Ural State University

Russian Federation, Chelyabinsk region, Chelyabinsk, shohin900@mail.ru

Abstract. Currently, there is an acute problem of treating diseases associated with impaired functioning of the deep structures of the brain. Such diseases include: Parkinson's and Alzheimer's disease, multiple sclerosis, etc. There are no effective methods for their treatment in the country and abroad. Here are the facts that confirm the seriousness and relevance of the problem of neurodegenerative diseases (NDD) [2]:- worldwide there are 435.6 million people with NDD, in Russia 1.8 million;- According to forecasts, the total number of people with dementia will almost double every 20 years and will be 65.7 million in 2030 and 115.4 million in 2050;- According to the World Health Organization, in the world the total number of people suffering from Parkinson's disease is about 3.7 million, in Russia about 300 thousand;

- Over the past decade, the death rate from Alzheimer's disease has increased by 68%, while from other significant diseases has decreased (HIV - by 42%, stroke - by 23%, heart disease - by 14%); The mechanism of the development of NDD, in which the destruction (degeneration) of neurons in some parts of the nervous system occurs, is not completely clear. Existing theories: genetic, oxidative stress and intoxication, focused mainly on the explanation of the processes, the final stage of their development. The main causes of NDD are still not established. That is why these diseases are still incurable.

Keywords: electromagnetic radiation, microwave therapy, radio vibration effect, high-frequency modulated radiation, cellular metabolism, device development.

1. Введение

Для установления причин или их комплекса, приводящих к НДЗ, необходимо обратить внимание на тот факт, что человек на протяжении всего эволюционного развития находился под воздействием электромагнитных излучений космического происхождения. К ним, в первую очередь, следует отнести микроволновое излучение Солнца, достигающего поверхности Земли (длина волны $8\text{мм} < \lambda < 15\text{м}$). Влияние этого вида излучения Солнца на жизнедеятельность организмов и человека, в частности, является малоизученной областью гелиобиологии [1]. Высказываются предположения о том, что под воздействием этого излучения в процессе эволюции организмов сформировался механизм их нейронной регуляции. При этом это излучение до недавнего времени активно использовалось организмом для поддержания своего гомеостаза. Однако за последние десятилетия из-за необратимых изменений электромагнитных свойств окружающей среды такое взаимодействие нарушилось. Электромагнитное загрязнение окружающей среды, многократно превышающее по своей интенсивности природные электромагнитные излучения, по утверждению ряда ученых, может лежать в основе системных изменений в организме человека [3]. В первую очередь это связано со смещением аэробного энергообмена в клеточных структурах в сторону анаэробного. Одна из причин такого смещения - это нарушения реологических свойств крови, приводящих к изменениям её кислородтранспортной функции. Следствием этого являются негативные для организма процессы снижения эффективности синтеза аденозинтрифосфата, замедления процессов клеточного метаболизма, межклеточного взаимодействия и др. Указанные процессы характерны и для нейронов в глубинных структурах мозга. Длительные нарушения кровообращения в нейронных структурах, ослабление взаимодействия механизма нейронной регуляции с внешней средой (космическими микроволновыми излучениями) может приводить к устойчивым нарушениям в работе нейронов, а в пределе к их гибели. Все это напрямую связано с возникновением НДЗ.

Таким образом, если принять за основу вышесказанное, то из этого следует, что наиболее эффективным способом профилактики и лечения НДЗ в условиях электромагнитного загрязнения окружающей среды является способ восстановления управляющей роли для организма микроволнового излучения Солнца. Его реализация, основанная на моделировании указанного излучения, позволит на организменном уровне запустить гомеостатические механизмы регуляции. Это позволит восстановить и процессы регуляции в глубинных структурах мозга. В этой связи актуальным является изучение механизма взаимодействия структур мозга с моделированным микроволновым излучением Солнца и оценка реальных возможностей его использования для профилактики и лечения НДЗ человека [7].

2. Модели механизмов взаимодействия нейронных структур с электромагнитным излучением

Также возникла идея о возможном способе лечения, который заключается в применении неинвазивного способа низкочастотной (от 1 до 100 Гц) механической стимуляции глубоких структур мозга посредством слабого высокочастотного электромагнитного излучения (радиовибрационный эффект).

3. Описание исследования

Реализация указанной идеи нашла отражение в разработке устройства, получившее название «Аппарат информационной микроволновой терапии АИМТ-1»¹ (рис. 3). Его модификация, основанная на создании с помощью нескольких излучающих антенн пространственно-распределенного поля электромагнитного излучения в диапазоне частот 4,0-4,3 ГГц, позволит при его поглощении возбудить в структуре мозга низкочастотные (частота 1-100Гц) пространственно разнесенные упругие колебания. Их возбуждение основано на «радиовибрационном» эффекте взаимодействия сложномодулированных электромагнитных излучений с биологическими структурами.

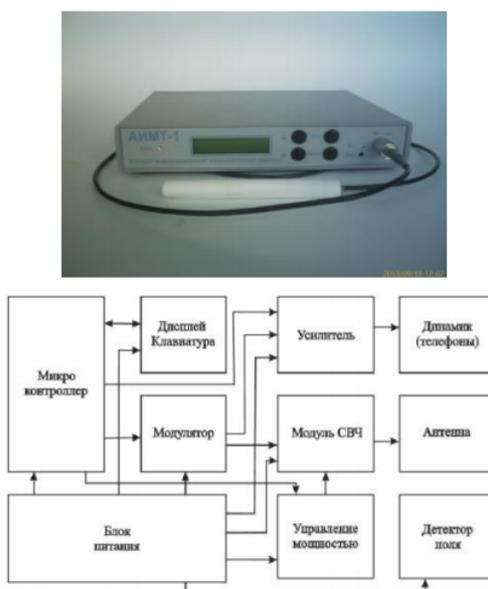


Рис. 3. Аппарат информационной микроволновой терапии АИМТ-1 и его блок-схема

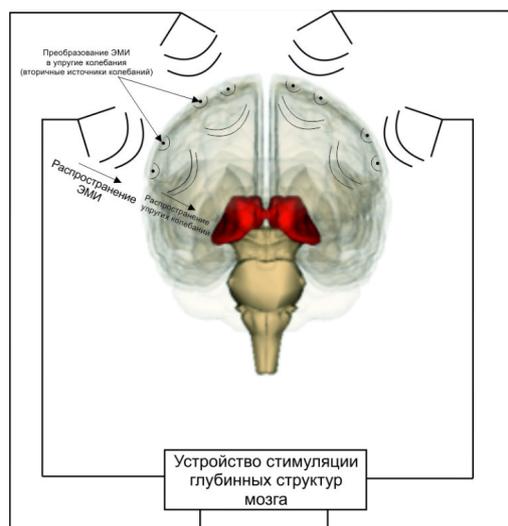


Рис. 4. Схема работы устройства стимуляции глубоких структур мозга

Формируемые упругие колебания схожи по своей частотно- временной структуре и интенсивности с естественными колебаниями тканей человека. Они будут способствовать процессу дезагрегации эритроцитов. Следствием этого будет являться восстановление снабжения нейронов кислородом. В тоже время механическая стимуляция клеточных мембран нейронов улучшит клеточный метаболизм. В совокупности это обеспечит восстановление в глубинных структурах мозга аэробного энергообмена, создаст необходимые условия для восстановления межнейронного взаимодействия, устранив условия возникновения вышеперечисленных болезней, которыми страдают многие люди пожилого возраста.

Таблица №1. Характеристики прибора

Параметр	Значение
Частота	4-4,3 ГГц
Ширина полосы спектра	5-30МГц
Мощность передатчика	4-10мВт
Плотность потока мощности	50-100мкВт/см ²
Вес прибора габариты	1,2кг;200x250x100мм

Приведем теоретические обоснование возникновения радиовибрационного эффекта. Согласно второму закону термодинамики излучаемая электромагнитная энергия будет преобразовываться в упругие колебания и тепло:

$$E_{\text{изл}} = E_{\text{своб}} + E_{\text{связ}} + E_{\text{л}} , \quad (1)$$

где $E_{\text{изл}}$ - излученная энергия;

$E_{\text{своб}}$ - свободная энергия, направленная на формирование упругих колебаний;

$E_{\text{связ}}$ - связанная энергия, направленная на выделения тепла;

$E_{\text{л}}$ - энергия, направленная на создание упругих колебаний.

Изменение связанной части внутренней энергии выражается формулой:

$$\Delta E_{\text{связ}} = T \cdot \Delta S , \quad (2)$$

где T - термодинамическая температура головного мозга до воздействия электромагнитного излучения;

ΔS - изменение энтропии, которое определяется следующим выражением:

$$\Delta S = \frac{M}{\mu} \left(C_{V\mu} \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} \right), \quad (3)$$

где M - масса вещества;

μ - его молярная масса;

$C_{V\mu}$ - молярная теплоемкость вещества при постоянном объеме;

T_1 и T_2 - термодинамические температуры биологического объекта «до» и «после» энергетического на него воздействия соответственно.

Цель нашего воздействия состоит в уменьшении энтропии и создании механизмов регуляции хаоса. Это происходит благодаря свободной энергии $E_{\text{своб}}$. При падении плоской электромагнитной волны нормально к границе поглощающей среды плотность энергии на расстоянии X от поверхности будет определяться известным соотношением:

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha X}, \quad (4)$$

где I_0 - плотность энергии на поверхности среды;

α - коэффициент поглощения среды.

Как мы рассматривали ранее, поглощенная энергия уйдет в тепло. В результате нагрева в головном мозге возникает механическое напряжение:

$$E_{\text{мех}} = \frac{\partial U(x, t)}{\partial x} = \beta \theta(x, t), \quad (5)$$

где U - компонента смещения элемента объема по оси X ;

β - температурный коэффициент линейного расширения вещества

и $\theta(x, t)$ - скачок температуры, обусловленный поглощением электромагнитной энергии.

В теории упругости известно соотношение, связывающее механическое напряжение и давление в упругой среде:

$$\sigma_x = B E_{\text{мех}} - B \beta \theta, \quad (6)$$

где $B \beta \theta$ - давление в среде при равномерном распределении температуры;

σ_x - избыточное давление, возникающее при быстром нагреве границы;

$B = \lambda + 2\mu$ - модуль упругости;

λ и μ - коэффициенты Ламе.

По второму закону Ньютона уравнение движения некоторого объема среды плотности ρ имеет вид

$$\rho \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = B \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - B \beta \frac{\partial \theta}{\partial x}. \quad (7)$$

Решение подобного рода уравнений гиперболического типа рассмотрены в [5] для всевозможных граничных и начальных условий, поэтому здесь мы лишь сошлемся на конечный результат. Полагая что тепло распространяется только в положительном

направлении, Л. Гарней получил приближенную функцию распределения температуры в следующем виде:

$$\theta(x, t) = \frac{\alpha I_0 t e^{-\alpha x}}{J \rho S}. \quad (8)$$

Здесь J - механический эквивалент тепла, равный 4,186 Дж/кал;

S - теплоемкость среды.

Таким образом, уравнение движения упругой волны при воздействии электромагнитного излучения будет иметь следующий вид:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{B}{\rho} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{B}{\rho} W T e^{-\alpha x}, \quad (9)$$

$$W = \frac{\beta \alpha^2 I_0}{J \rho S}. \quad (10)$$

Выражение для коэффициента преобразования падающей электромагнитной энергии в энергию упругих колебаний [6] дается в виде:

$$N = \frac{E_{\text{изл}}}{E_{\text{своб}}} = \frac{B \beta^2 I_0}{2 \rho^2 S^2 J^2} F \left(\alpha \frac{B}{\rho} t \right), \quad (11)$$

$$F \left(\alpha \frac{B}{\rho} t \right) = \frac{\alpha \frac{B}{\rho} t e^{-\alpha \frac{B}{\rho} t} + 3 e^{-\alpha \frac{B}{\rho} t} + 2 \alpha \frac{B}{\rho} t - 3}{\alpha \frac{B}{\rho} t}. \quad (12)$$

Так называемая энергия Лоренца, как и связанная энергия, направлена на создание в головном мозге упругих колебаний и определяется следующим выражением:

$$E_L = \sum_{i \in V} \frac{\Delta F_{L_i}}{\Delta V_i}, \quad (13)$$

где ΔF_{L_i} - изменение силы Лоренца в некотором объеме ΔV_i .

Напишем выражение для самой силы Лоренца:

$$F_L = q(\vec{E}_0 + [\vec{v} \times \vec{B}]), \quad (14)$$

где q - электрический заряд частицы, движущейся со скоростью v во внешнем электрическом E_0 и магнитном B полях.

Указанная сила, действуя на ионы, находящиеся внутри клеток и вне их, будет оказывать механическое воздействие на мембраны клеток и окружающие их структуры. Её пульсирующий характер будет способствовать возбуждению в биоструктурах упругих колебаний со средней интенсивностью:

$$I = (\Omega_{\text{ср}}^2 \cdot \rho \cdot X_0^2 \cdot u). \quad (15)$$

На основании теоретических предпосылок было проведено моделирование влияния описанного излучения на головной мозг. В качестве примеров приведены результаты излучения монохроматического и модулированного излучения (рисунки 5 – 12). Анализируя полученные результаты, можно прийти к выводу, что при монохроматическом излучении для обеспечения направленности излучения необходимо как минимум 4 антенны, а для модулированного сигнала достаточно двух. Подбирая различные типы модуляции и его параметры можно обеспечить концентрацию излучения в необходимой области головного мозга. При моделировании использовалась дипольная антенна. Стоит отметить, что при девиации частоты ЛЧМ сигнала менее 10% рупорную антенну можно заменить вибраторной, как и было сделано при исследовании для увеличения скорости расчета. В дальнейшем планируется проводить более строгие расчеты с использованием суперкомпьютера. В качестве модели головного мозга для проведения исследований была выбрана сферическая модель мозга (среднестатистического размера). Это упрощенная модель, состоящая из кожного и костного слоев и самого головного мозга.

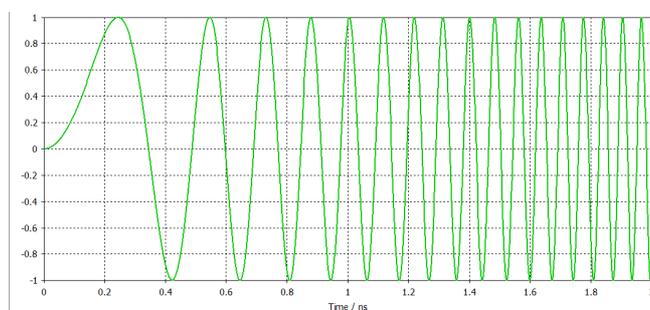


Рис. 5. Диаграмма излучаемого сигнала

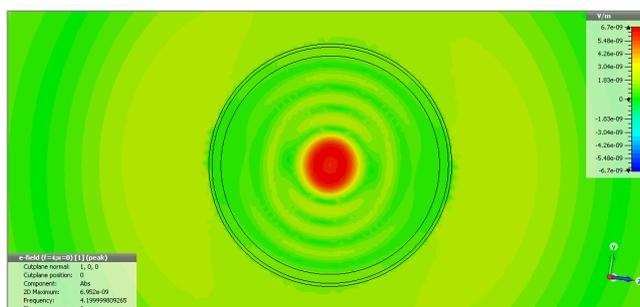


Рис. 6. Напряженность поля в вертикальной плоскости при излучении модулированного сигнала

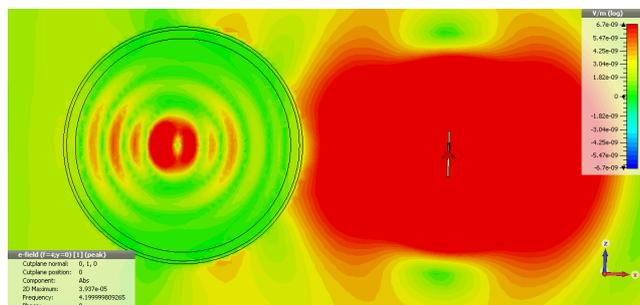


Рис. 7. Напряженность поля в горизонтальной плоскости при излучении модулированного сигнала

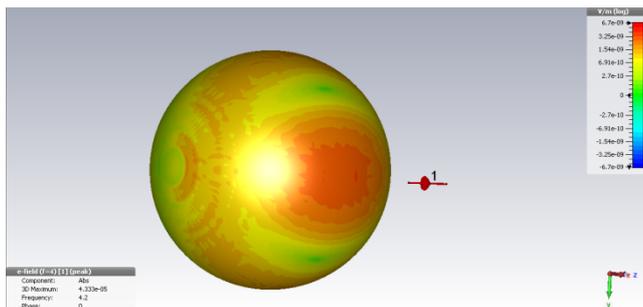


Рис. 8. Напряженность поля на поверхности головы при излучении модулированного сигнала

Теперь приведем результаты моделирования при излучении монохроматического сигнала (рисунки 9 – 12).

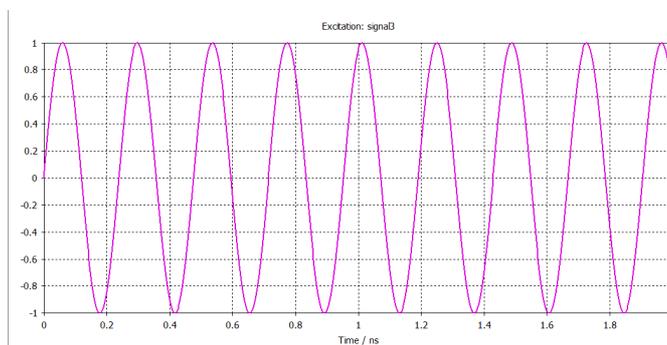


Рис. 9. Диаграмма излучаемого сигнала

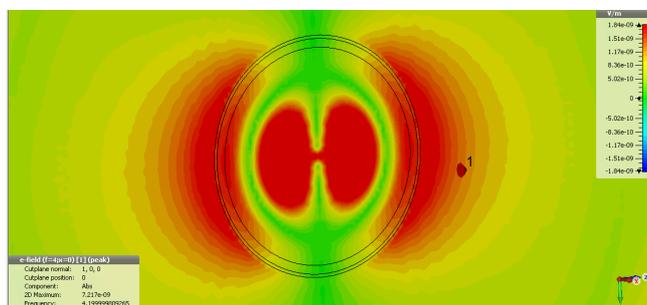


Рис. 10. Напряженность поля в вертикальной плоскости при излучении монохроматического сигнала

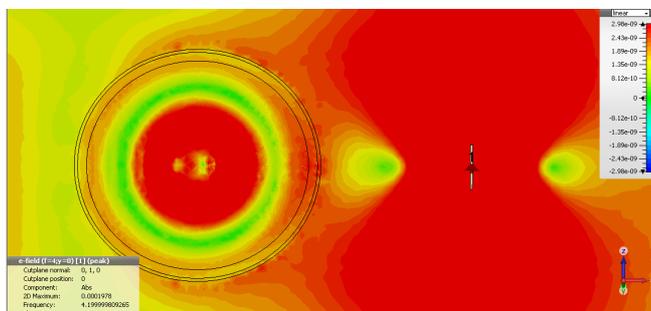


Рис. 11. Напряженность поля в горизонтальной плоскости при излучении монохроматического сигнала

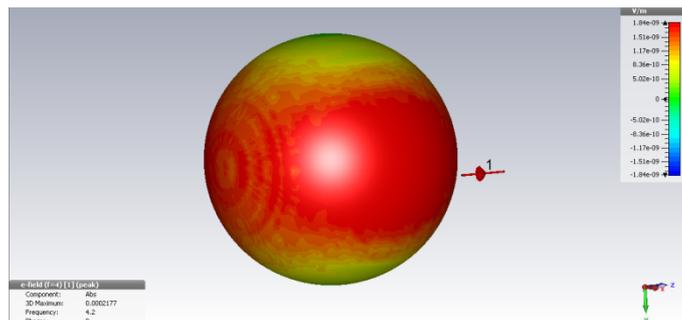


Рис. 12. Напряженность поля на поверхности головы при излучении монохроматического сигнала

4. Характеристики воздействия излучения на биологическое тело

Для оценки воздействия радиоизлучения на организм человека можно применить, по крайней мере, два критерия: 1) критерий увеличения температуры тела при длительном воздействии облучения и 2) величину поглощенной мощности на единицу веса. Повышение температуры тела зависит от мощности, поглощаемой и рассеиваемой в виде тепла в теле, поэтому второй параметр - так называемая, величина SAR (Specific Absorption Rate) - получил более широкое распространение [4]. Величина SAR в ячейке анализируемого пространства определяется как отношение мощности, поглощаемой в данной ячейке, к весу биологической ткани в ней [5]:

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho}, \quad (16)$$

где σ – проводимость биологической ткани, заполняющей ячейку, См/м;

E – напряженность электрического поля внутри ячейки, В/м;

ρ – плотность ткани внутри ячейки, кг/м³.

В 1948 г. Н.Н.Реннес [6] предложил математическую модель для передачи тепла в биологическом теле, обусловленной диффузией крови. Хотя были разработаны и более сложные модели процесса теплопередачи, этот подход был уточнен и всё еще используется в настоящее время. Модель описывает влияние тока крови на температуру ткани в стационарном состоянии. Поэтому источник и канал передачи тепла введены в уравнение теплопроводности:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(\lambda \nabla T) + MR + \rho * SAR + \xi \rho_b C_b (T_a - T), \quad (17)$$

где ρ – плотность массы биологического материала;

c_p – теплоемкость биологического материала;

λ – теплопроводность материала;

MR – скорость генерации тепла в соответствии с метаболическими процессами;

ξ – скорость диффузии тепла;

ρ_b – плотность массы крови; C_b – теплоемкость биологического материала;

T_a – артериальная температура;

SAR – удельная мощность поглощения.

Каждое слагаемое в (17) имеет смысл и размерность мощности.

Если все механизмы теплопроводности в рамках простейшей диэлектрической модели головы свести к потерям, то из (17) можно получить упрощенное уравнение, в котором увеличение температуры связано с величиной SAR [2]:

$$SAR = C \frac{dT}{dt} = \frac{C\Delta T}{\Delta t}, \quad (18)$$

где C – коэффициент теплопроводности [Дж/кГ/град];

ΔT – увеличение температуры в заданной точке тела, град;

Δt – время действия облучения, мин.

Таким образом, есть два способа определения SAR , основанные:

1) на измерении или расчете увеличения температуры тела на заданном отрезке времени, и

2) на измерении или расчете напряженности электрического поля в заданной точке внутри фантома головы.

Для того, чтобы определить поле E в системе, состоящей из излучающих антенн и расположенного рядом биологического объекта, нужно решить систему уравнений для электромагнитного поля вместе с граничными условиями на границах раздела. Так как законы распространения тепла и электромагнитного поля описываются похожими уравнениями, то методы решения уравнения теплопроводности и уравнений Максвелла на этапе их дискретизации могут использовать одну и ту же сетку разбиения.

Погрешность в расчете SAR зависит от погрешности в расчете поля и от точности задания параметров модели головы. Очевидно, что подробное моделирование головного мозга является довольно сложной задачей, требующей больших вычислительных ресурсов.

Необходимо также учитывать, что напряжение источника, действующего на входе антенны, изменяется во времени. Поэтому для каждого временного шага необходимо рассчитывать значения электрического и магнитного полей во всех точках анализируемого пространства, в соответствии с методом расчета во временной области (метод FDTD). В нашей стране метод FDTD практически не применяется. Предлагаемые западными фирмами коммерческие программные продукты, использующие FDTD, стоят десятки тысяч долларов. Безусловно актуальной является разработка конкурентоспособных отечественных продуктов такого класса, в которых можно использовать как накопленный богатый опыт электродинамического моделирования разнообразных объектов, так и оригинальные идеи, позволяющие снизить требования к вычислительным ресурсам, повысить точность моделирования, расширить область применения методов, дать новые сервисные функции. Ряд интереснейших научных проблем может быть поставлен и решен на пути совершенствования метода. Особо важна гибридизация метода FDTD и других, например, метода моментов. В результате выполнения проекта предполагается создание методологической и научно-технической основы для разработки математических моделей и методов проектирования радиотехнических систем электрофизических комплексов, разработка и практическое применение программных комплексов электродинамического моделирования микроволновых систем и антенн методом конечных разностей во временной области.

Особо выигрышным является использование метода FDTD при исследовании нестационарных процессов - например, электромагнитного поля антенн при возбуждении их короткими импульсами или модулируемыми сигналами.

Данный метод позволяет наиболее точно определить значение электромагнитного поля в любых точках пространства при различных углах падения электромагнитной волны. Это является очень важной задачей, так как объект моделирования - головной мозг имеет сферическую форму.

В качестве примера приведем результаты моделирования нестационарного электромагнитного поля вибратора, возбуждаемого ЛЧМ сигналом, методом FDTD для угла

падения электромагнитной волны, равным 90 градусов (рисунок 13).



Рис. 13. Зависимость напряженности электромагнитного поля от расстояния

Голова человека как биологическое тело имеет достаточно сложную структуру и состоит из несколько видов биологической ткани с потерями, в которых мощность поглощается неравномерно из-за разницы в проводимости каждого слоя. Поэтому важным условием точности расчетов внутреннего поля является достаточно точное построение модели головы. Следует отметить, что электромагнитное моделирование тела человека в настоящее время, - это одна из выделившихся научных областей на стыке радиотехники и медицины. Усредненные значения основных параметров часто используемой трехслойной модели головы человека представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры трехслойной модели головы человека

Вещество	Толщина, мм	Относит. диэлектрическая проницаемость	Проводимость слоя, См/м	$\text{tg } \delta$ [6]	Плотность слоя, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/К/м
Мозг	заполнение	53 (0.9 ГГц) 46 (1.9 ГГц)	1.1 (1.7)	0.415 (0.369)	1030	0.3
Кость	3	9 (8)	0.06 (0.1)	0.133 (0.125)	1800	0.01
Кожа	1	59 (46)	1.3 (1.9)	0.44 (0.41)	1100	0.5

В данной работе численное исследование взаимодействия электромагнитного излучения и головы пользователя было проведено с помощью программы CST Microwave Studio (CST MS). Эта программа основана на методе FDTD и позволяет найти все требуемые характеристики поля в ближней и дальней зонах.

В результате моделирования в САПР был получен следующий результат (рисунок 14).

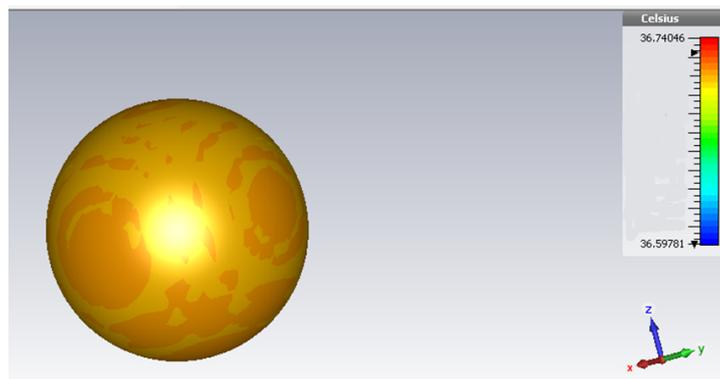


Рис. 14. График распределения температуры

Как видно из графика, температура головного мозга при его облучении (Мощность излучения 10-50 мкВт/см²) повышается не более, чем на 0,14 градусов, что свидетельствует о безопасности данного излучения

Выводы

В качестве модели головного мозга использовалась упрощенная сферическая модель. Моделирование проводилось в САПР CSTStudioSuite. Полученные результаты подтвердили предположения о том, что высокочастотное модулированное излучение может фокусироваться в определенных областях головного мозга. Такое распределение напряженности происходит потому, что голова, в данном случае, выступает сферическим резонатором и ней происходят переотражения волн от костных тканей. Также был теоретически обоснован радиовибрационный эффект.

Дальнейшее исследование будет заключаться в усложнении модели, использовании для излучения рупорную антенну и ФАР, применение суперкомпьютера. На данном этапе проводятся опыты по подтверждению возникновения упругих колебаний на поверхности головного мозга.

Библиографический список

1. Даровских С.Н. Микроволновая гелиобиология// С.Н. Даровских, Ю.С. Шишкова, Е.П. Попечителей, Н.В. Вдовина // Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – 99с.
2. Иллариошкин С.Н. Основные принципы терапии болезни Паркинсона // Рос. медиц. журн. – 2004. – Т. 12, № 10. – С.604-608.
3. Даровских С.Н., Разживин А.А., Кудряшова Ю.И., Кузнецов М.Е. Информационно-волновая концепция противодействия электромагнитному загрязнению окружающей среды и другим негативным факторам антропогенного происхождения. // Биомедицинская радиоэлектроника. 2008. №11. С.20–28.
4. Вдовина Н.В. Устройство моделирования микроволнового излучения Солнца СВЧ диапазона для оценки его модифицирующего действия на организмы / Н.В. Вдовина, Н.Н. Гудаев, В.Н. Багаев, С.Н. Даровских, Е.П. Попечителей, Е.В. Водяницкий // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. –2015. – Том 15. – №1. – С. 5-10.
5. Даровских С.Н. Радиовибрационный механизм взаимодействия биологической ткани организмов с электромагнитными полями и излучениями / С.Н. Даровских, Ю.С. Шишкова, Е.П. Попечителей, О.Б. Цейликман, Н.В. Вдовина, М.С. Лапшин // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2014. – Том 14. – №3. – С. 5-10.
6. Тихонов А.И., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1977г., 735 стр.
7. Gournay L.S. Conversion of Electrimagnetic to Acoustic Energy by surface Heating// J.Fcoust Soc. Armer 1966, v.40 No 6, p.p. 1322-1330.

УДК 615.841; ГРНТИ 76.13.23

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ДЫХАНИЯ ПЛОВЦА

С.А. Новиков

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, noviserg96@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматривается один из вариантов обработки данных, снимаемых разрабатываемым устройством, и ее реализация на языке python.

Ключевые слова: обработка данных, огибающая, цифровые фильтры, преобразование Гильберта, python.

SYSTEM CONTROL PARAMETERS SWIMMER

S.A. Novikov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, noviserg96@gmail.com*

The annotation. The paper discusses one of the options for processing data removed by the device being developed, and its implementation in the python language.

Keywords: Data processing, envelope, digital filters, Hilbert transform, python.

В настоящее время обработка измеряемых данных, занимает большую часть времени разработки устройства. Сигнал получаемый с измерительного устройства, представляет оцифрованную запись с микрофона, следовательно, для обработки данных необходимо знать частоту дискретизации АЦП. Далее полученный сигнал необходимо подвергнуть обработке, а именно выделить огибающую, которая содержит информативную часть сигнала. Для этого будем использовать преобразование Гильберта и цифровой фильтр нижних частот. Для реализации мы будем использовать скриптовый язык высокого уровня python, так как он содержит много библиотек для научных вычислений и обработки данных.

Преобразование Гильберта

Преобразованием Гильберта называется интегральное преобразование вида:

$$\hat{s}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{s(\lambda)}{t-\lambda} d\lambda \equiv \Gamma[s(t)]. \quad (1)$$

Преобразование Гильберта позволяет сформировать аналитический сигнал из действительной функции времени. В результате получаем три функции времени из которых мы будем использовать лишь одну, а именно мгновенную амплитуду:

$$\omega(t) = |\psi(t)| = \sqrt{s^2(t) + \hat{s}^2(t)}. \quad (2)$$

Две другие позволяют получить мгновенную фазу (4) и мгновенную частоту (5):

$$f(t) = \frac{1}{2\pi\omega(t)} \left[s(t) \frac{d\hat{s}(t)}{dt} - \hat{s}(t) \frac{ds(t)}{dt} \right]; \quad (4)$$

$$\varphi(t) = \arctan \frac{\hat{s}(t)}{s(t)}. \quad (5)$$

Функция для нахождения преобразования Гильберта в программе имеет вид:

```
def envelopment_signal(data):
    analytic_signal = hilbert(data)
    amplitude_envelope = np.abs(analytic_signal)
```

```
fsig = FilteredSignal(amplitude_envelope, 200, 0.8)
return fsig.
```

Функция `hilbert(data)` находит преобразование Гильберта, после чего для того, чтобы убрать мнимую часть, используется функция `abs` из библиотеки `numpy`, которая возвращает абсолютные значения, и далее мы посылаем данные в функцию, которая выполняет фильтрацию. На выходе получаем огибающую входного сигнала.

При этом, если заменить функцию `np.abs(analytic_signal)` на `np.imag(analytic_signal)`, то можно получить сигнал преобразованный Гильбертом.

Если заменить на `np.real(analytic_signal)`, то можно получить исходный сигнал.

Цифровой фильтр нижних частот

Работа цифрового фильтра представляет из себя умножение входного сигнала (функции) на коэффициенты, отвечающие характеристики фильтра, в нашем случае это будет характеристика Баттерворта. Уравнение (3) реализует описанный фильтр.

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h_k(n) * x(n - k). \quad (6)$$

Параметры фильтра рассчитываются из частот среза фильтра.

$$h_d(n) = 2f_c * \frac{\sin(nw_c)}{nw_c} \text{ для } n \neq 0, \quad (7)$$

$$h_d(n) = 2f_c \text{ для } n = 0, \quad (8)$$

где f_c , w_c – частоты среза.

Так как мы используем язык `python`, нам нет необходимости реализовывать эти функции самостоятельно, все они реализованы в библиотеке `scipy.signal`.

Для удобства использования напишем функцию, выполняющую расчет параметров для фильтра Баттерворта:

```
def FilteredSignal(signal, fs, cutoff):
    B, A = butter(1, cutoff / (fs / 2), btype='low')
    filtered_signal = filtfilt(B, A, signal, axis=0)
    return filtered_signal.
```

В этой функции используются две библиотечные функции: функция `butter()`, которая рассчитывает коэффициенты фильтра, исходя из частоты дискретизации и частоты среза, то есть реализует уравнение 4 или 5, и функция `filtfilt()`, которая принимает на вход коэффициенты, рассчитанные в функции `butter()`, и сигнал, который необходимо отфильтровать, и реализует уравнение 3. Функция `filtfilt()` выполняет сначала прямую фильтрацию, а затем обратную, благодаря этому мы компенсируем фазовый сдвиг, возникающий при фильтрации.

Для проверки работоспособности программы была написана программа, которая считывает данные с COM порта и записывает их в CSV файл, далее выделяет огибающую и записывает в еще один файл.

Для получения данных по COM порту используется библиотека `serial`, которая

позволяет произвести конфигурацию COM порта. В нашем случае используется COM порт со скоростью 115200 бад/с и количеством бит на число, равным 8. Так как преамбула передачи представляет собой символьное значение, необходимо использовать такую конструкцию языка python, как исключение преамбулы из потока данных. При этом мы используем операцию приведения данных, так как поток данных идет в формате string. Необходимо использовать приведение данных к формату с плавающей точкой. Так же из каждого читаемого значения вычитается постоянное смещение АЦП, чтобы выставить сигнал относительно 0.

В коде программы чтение данных и инициализация порта выглядит так:

```
ser = serial.Serial('COM4', 115200, bytesize=8, parity='N', stopbits=1, timeout=1)
def reading():
    try:
        Sout = float(ser.read(5)) - 2580
    except Exception:
        Sout = 0
    return Sout.
```

После мы в бесконечном цикле производим запись в CSV файл. Для этого используется библиотека csv, в которой определен класс csv.writer(f), которому передается переменная, которой присвоен открытый файл.

В этом классе определена функция writerow(), которая производит запись в файл построчно. В программе мы напрямую передаем данной функции функцию reading().

Данный фрагмент программы имеет вид:

```
f = open(FILENAME, "w", newline="")
writer = csv.writer(f)
while True:
    writer.writerow([reading()]).
```

На выходе получаем сигнал, показанный на рисунке 1.



Рис. 1 Данные полученные при измерении (красный сигнал), и огибающая сигнала (белый сигнал)

В результате получаем огибающую сигнала, которая выделяется с высокой точностью, однако использование преобразования Гильберта может быть избыточной для нашей задачи, поэтому следующим этапом работы будет проверка более простого метода выделения огибающей без использования преобразования Гильберта и сравнение с методом, описанным выше.

Библиографический список

1. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. – 3-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011 - 768 с.: ил. – (Учебная литература для вузов)
2. Федоров, Д. Ю. Программирование на языке высокого уровня Python: учеб. пособие для прикладного бакалавриата / Д. Ю. Федоров. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2019. — 161 с. — (Серия: Бакалавр. Прикладной курс).
3. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М: Мир, 1978.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОРРЕКЦИИ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОСАДКИ СУДНА

А.С. Трифан, А.Л. Виноградов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, trifan.95@bk.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются методы коррекции оценивания параметров посадки судна. Показана электронная модель судна с воздействием помех.

Ключевые слова: крен, дифферент, посадка судна, электронный инклинометр, уровнемер, сигнал с шумом.

THE DEVELOPMENT OF A CORRECTION METHOD FOR ESTIMATING THE PARAMETERS OF LANDING

A.S. Trifan A.L. Vinogradov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, trifan.95@bk.ru*

The summary. The paper considers the methods of correction of the ship landing parameters estimation. The electronic model of the vessel with influence of hindrances is shown.

Keywords: roll, trim, landing, electronic inclinometer, level gauge, signal with noise.

В судостроении применяются множество сложных приборов и механизмов для поддержания судна на воде суровых условиях. Посадку судна характеризуют различные параметры: осадка на мидель-шпангоуте, угол крена и угол дифферента. Осадка — это расстояние от основной плоскости до точки пересечения ватерлинии по центральной оси судна. Дифферент (от латинского *differens* — разница), разница в осадке (углублении) судна носом и кормой (БСЭ).

Крен (от голландского *krengen* — класть судно на бок), поворот летательного аппарата, судна относительно продольной оси (БСЭ). Основной задачей судостроения заключается в том чтобы полностью контролировать положения судна относительно горизонта. Для ее решения применяется система программного обеспечения контроля посадки судна (ПО КПС) в сопряжении с комплексом управления судном. Основной целью является разработка алгоритмов определения параметров посадки судна и расчета водоизмещения судна по параметрам посадки. Существует несколько методов контроля данных параметров и ученые изобретают новые более точные, надежные и менее ресурсозатратные способы.

На блок схеме, представленной на рисунке 1, показан общий алгоритм программного обеспечения контроля посадки судна.

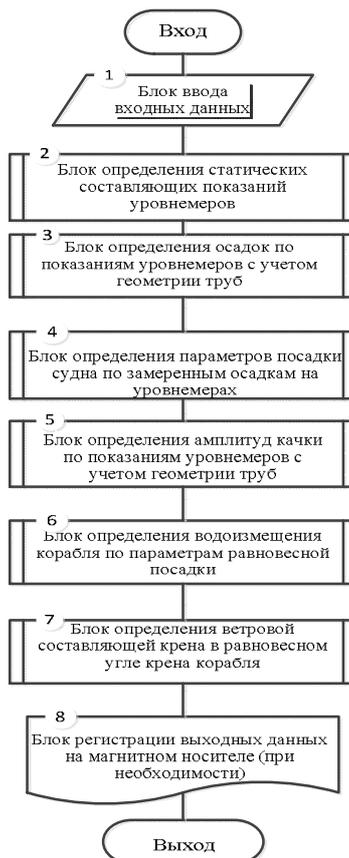


Рис. 1. Блок-схема ПО КПС

Рассмотрим подробнее блок №4 определения параметров посадки судна по замерным осадкам на уровнемерах.

Уровнемеры используют в своем устройстве принцип рефлектметрии. Излучатель отправляет импульс, который достигает воды и часть энергии импульса отражается в обратном направлении. Приемник считывает его, а разница во времени между отправленным и полученным сигналом пропорциональна расстоянию до поверхности воды.

Для более точного измерения угла наклона в данной работе используется инклинометр ИН-Д2 показанный на рисунке 2.



Рис. 2. Инклинометр ИН-Д2

Принцип работы данного устройства в том что, первичный преобразователь измерителя представляет собой заполненную электролитом металлическую ампулу, которая имеет пять токовыводов, содержит центральный подвижный электрод, выполняющий роль

демпфированного маятника, и четыре боковых электрода. При наклоне измерителя изменяются расстояния между центральным электродом и боковыми электродами, что приводит к изменению электрических сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 , R_4 заполненных электролитом межэлектродных полостей.

Электронный преобразователь встроенный в устройство, отслеживает указанные изменения и вырабатывает электрические сигналы, величины и знаки которых определяют величины и знаки составляющих углов наклона по двум взаимно перпендикулярным измерительным осям.

На рисунке 3 показана схема устройства инклинометра ИН-Д2:

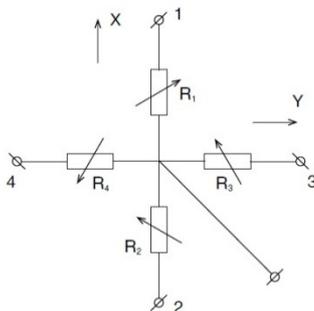


Рис. 3. Устройство инклинометра ИН-Д2

Для реализации данной системы нужно создать математическую модель судна. Так как инклинометр не дает информации о погружении судна в воду, придется использовать адаптивный фильтр. Схема представлена на рисунке 4.

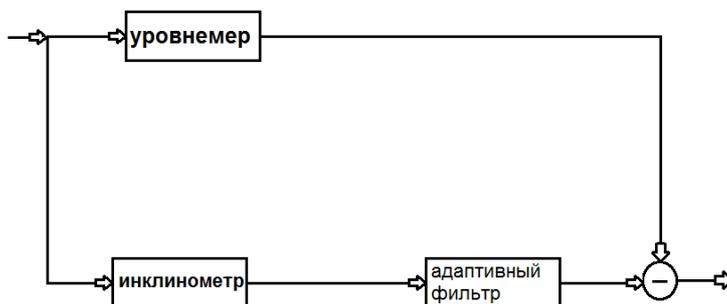


Рис. 4. Модель оценки параметров посадки судна

При помощи данного инклинометра система становится более совершенной, быстрее реагирует на углы крена и дифферента. Это достигнуто снижением отклика и высокой точностью прибора.

Уровнемер инертен и реагирует с запаздыванием на изменения положения судна относительно горизонта. Вследствие чего образуются погрешности измерений, которые нужно компенсировать. Для этого используется адаптивный фильтр [1]. Идентификация уровнемера выполняется разностным уравнением пятого порядка с учетом шума на выходе.

Аддитивная модель входного сигнала длительностью N отсчетов:

$$N := 20000; k := ..N - 1.$$

Детерминированная гармоническая составляющая:

$$\omega_0 := \frac{3\pi}{9}; A := 2x_k := A \cos(\omega_0 * k).$$

СКО случайной составляющей: $\sigma := 0,2$; $a := \sqrt{3} * \sigma$; $a = 0,346$; $r_k := \text{rnd}(2 * a) - a$.

Крен: $Kr := 2$.

Модель входа: $x_k := x_k + r_k + Kr$ показана на рисунке 5.

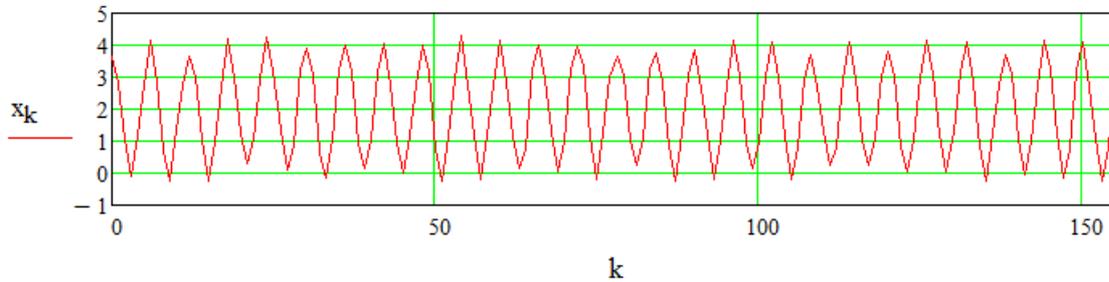


Рис. 5. Модель входного сигнала

Неизвестные параметры системы: $b_0 := \frac{-1}{8}$; $b_1 := \frac{1}{4}$; $b_2 := \frac{2}{4}$; $b_3 := \frac{1}{4}$; $b_4 := \frac{-1}{8}$.

Начальные условия:

$$y_0 := b_0 * x_0; y_1 := b_0 * x_1 + b_1 * x_0; y_2 := b_0 * x_2 + b_1 * x_1 + b_2 * x_0;$$

$$y_3 := b_0 * x_3 + b_1 * x_2 + b_2 * x_1 + b_1 * x_0.$$

Выход системы:

$$k := 4..N - 1; y_k = b_0 * x_k + b_1 * x_{k-1} + b_2 * x_{k-2} + b_3 * x_{k-3} + b_4 * x_{k-4}.$$

Шум

Модель шума уровнемера $k := 0..N - 1$.

Математическое ожидание: $\mu := 0$.

СКО: $\sigma_1 := 0.1$.

Нормальный шум уровнемера: $\xi := rnorm(N, \mu, \sigma_1)$ показан на рисунке 6.

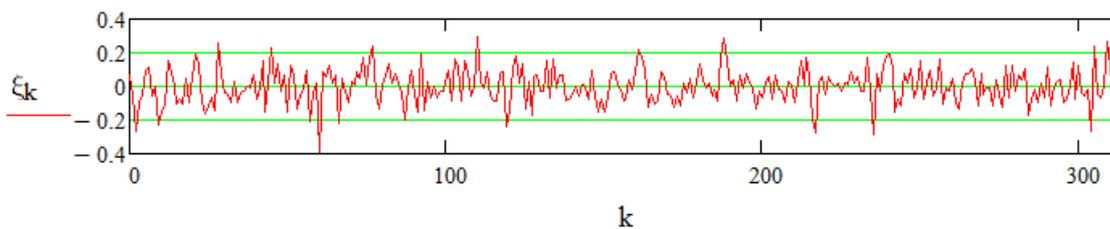


Рис. 6. Нормальный шум уровнемера

Выход уровнемера с шумом: $y_k := y_k + \xi_k$ изображен на рисунке 7.

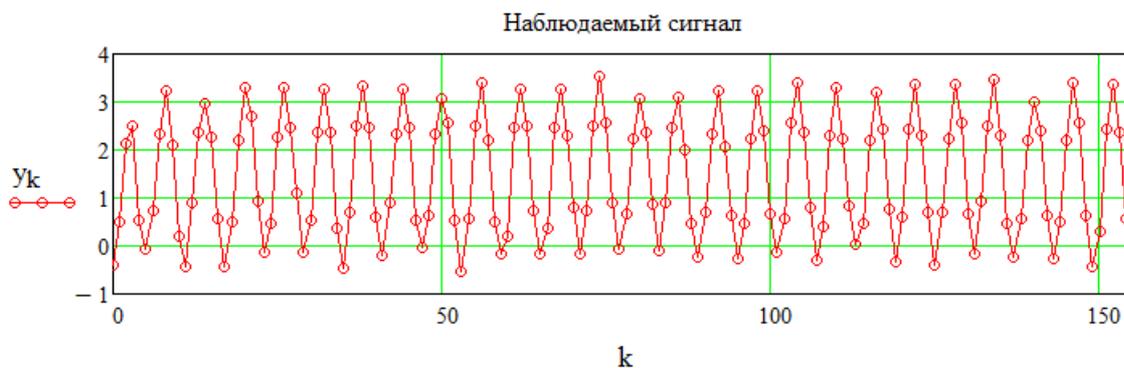


Рис. 7. Модель системы с шумом

На рисунке 8 показана настройка коэффициентов адаптивного фильтра модели системы судна во время качки.

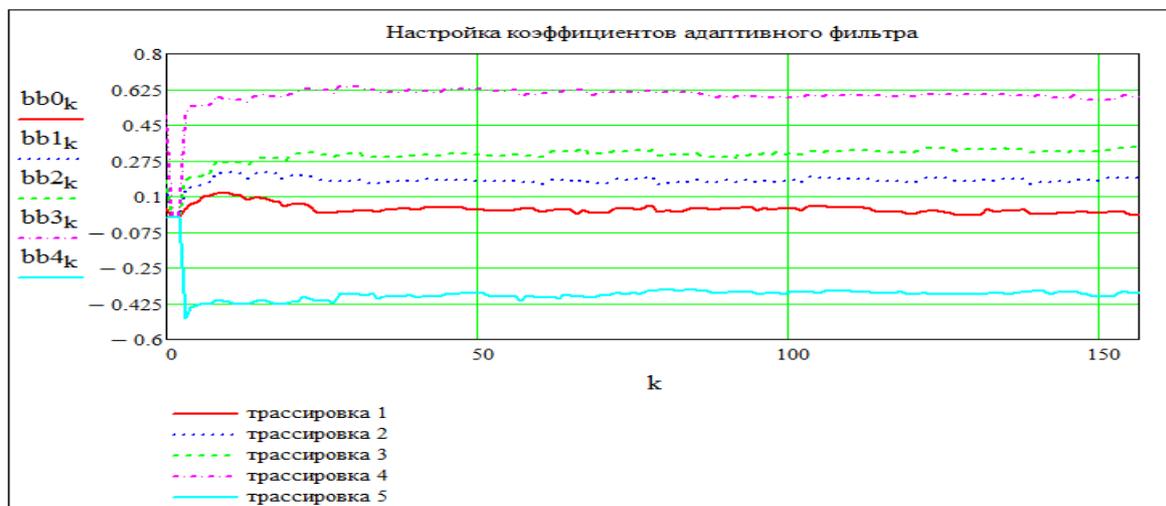


Рис. 8. Настройка коэффициентов адаптивного фильтра

Разработана программа которая корректирует погрешности оценивания параметров посадки судна. На рисунке 9 показана частотная характеристика уровнемера и модели судна.

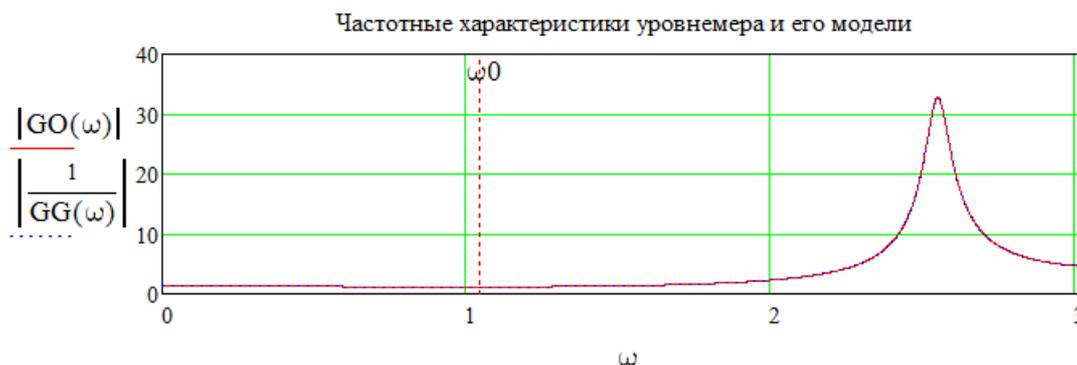


Рис. 9. Частотные характеристики уровнемера и его модели

Данная программа учитывает показания инклинометра и уровнемера и компенсирует погрешность измерений. Таким образом, модель показанная на рисунке 4, полностью характеризует положение судна относительно горизонта.

1. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов / Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1989. — 440 с.

СЕКЦИЯ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБОРО-И МАШИНОСТРОЕНИИ»

УДК 53.08.3

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ НАГРУЗОК НА СИЛОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ПЛАТФОРМЕННЫХ ВЕСОВ

А. В. Васильев

корпорация Казахмыс, Казахстан, Балхаш

Аннотация. В статье предлагается метод проверки правильности работы датчиков платформенных весов.

Ключевые слова: тензометрический датчик, косвенные измерения, диагностирование.

ABOUT DISTRIBUTION OF LOADS ON SILICON SENSORS OF PLATFORM WEIGHTS

A.V. Vasilev

Kazakhmys Corporation, Kazakhstan, Balkhash

Abstract. The article proposes a method for checking the correct operation of the platform scales sensors.

Key words: strain gauge, indirect measurements, diagnostics.

Величины нагрузок на силоизмерительные датчики платформенных весов во многом зависят от местоположения взвешиваемого груза на них. Однако, в связи с тем, что платформа весов, опирающаяся на четыре силоизмерительных датчика, является статически трудно определяемой конструкцией, то расчёт нагрузок на датчики по законам статики теоретической механики затруднён. Имеется четыре неизвестных по величине нагрузки на датчики – R1, R2, R3, R4, а из законов статики можно получить только три связывающих их уравнения.

1. Уравнение баланса сил: $R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = F$.
2. Уравнение баланса моментов сил относительно координатной оси X:

$$MX_{R_1} + MX_{R_2} + MX_{R_3} + MX_{R_4} = MX_F.$$

3. Уравнение баланса моментов сил относительно координатной оси Y:

$$MY_{R_1} + MY_{R_2} + MY_{R_3} + MY_{R_4} = MY_F.$$

Четвёртое уравнение мы можем получить из допущения деформаций датчиков, считая их деформации пропорциональными нагрузкам. Платформа, при этом, под воздействием груза смещается в пространстве, однако все её измерительные точки будут находиться в одной плоскости. Для того чтобы получить четвёртое уравнение, мы вводим четвёртое ограничение на неизвестные переменные, известное из аналитической геометрии как уравнение плоскости, проходящей через три точки:

$$\begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} = 0.$$

Раскрывая определитель и вводя обозначения: $z = R4$; $z_1 = R1$; $z_2 = R2$; $z_3 = R4$; получим недостающее четвёртое уравнение Будем считать платформу весов квадратной со стороной = 1.

4. Уравнение из условия деформации датчиков: $R1 - R2 - R3 + R4 = 0$.

Решим полученную систему уравнений симплекс-методом, используя надстройку Excel – «поиск решения» [1]. При этом исходные уравнения будут записаны в виде:

	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄		Значения ограничений
Переменные	30	50	0	20		
Коэффициенты целевой функции	1	1	1	1	100	
Баланс сил	1	1	1	1	100	100
Ограничения баланса моментов 1	0	1	0	1	70	70
Ограничения баланса моментов 2	0	0	1	1	20	20
Ограничения по деформации датчиков	1	-1	-1	1	0	0

Ищется максимум целевой функции $F = R1 + R2 + R3 + R4$.

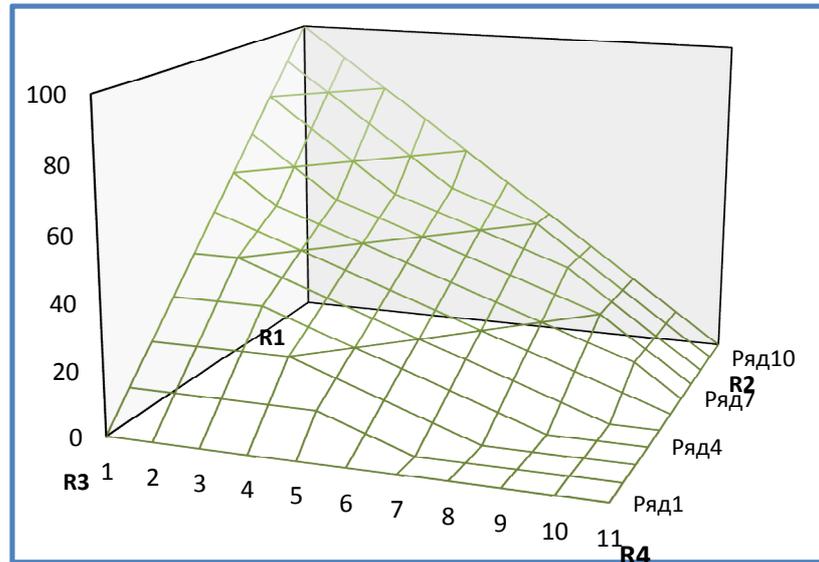
Для нагружения весов будем использовать точечную силу величиной 100 кг, которой будем нагружать весы в различных точках платформы, с шагом 0,1 длины стороны платформы. В результате получится следующая матрица нагрузок:

	R2										R1
	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
0	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,1	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
0,2	0	10	20	30	35	40	45	50	60	70	80
0,3	0	10	20	25	30	35	40	45	50	60	70
0,4	0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
0,5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0,6	0	0	5	10	15	20	25	30	35	40	40
0,7	0	0	0	5	10	15	20	25	30	30	30
0,8	0	0	0	0	5	10	15	20	20	20	20
0,9	0	0	0	0	0	5	10	10	10	10	10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R4										R3

В каждой клетке этой матрице проставлена величина усилия действующего на датчик R1, при воздействии силы 100 кг на соответствующую клетку платформы весов. Следует отметить, что если при решении уравнений одна из величин R получается отрицательной, то это означает, что на неё приходится нулевая нагрузка и её следует исключить из исходной матрицы и повторить решение.

Если изобразить результат решений в виде поверхности, то получится следующая диаграмма:

Зависимость нагрузки на угловой датчик платформы R1 от местоположения груза



Выводы

1. При установке груза на платформу весов, все четыре датчика будут нагружены им только в том случае, когда центр его массы находится в области чёрного ромба на полученной матрице нагрузок.
2. Если центр массы груза находится в области красного треугольника, то на датчик в противоположном углу платформы действует нулевая доля нагрузки.
3. При проверке величины угловой погрешности весов достаточно устанавливать эталонный груз в центральную часть каждой из четырёх угловых квадрантов платформы весов. При этом будут проверяться правильность работы только трёх датчиков в угловых частях квадранта.

Библиографический список

1. Каганов В.И. Компьютерные вычисления в средах Excel и Mathcad/ М.: Горячая линия-Телеком, 2003.-328с.:ил.

УДК 621.391; ГРНТИ 50.47.31

УПРАВЛЕНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Д.С. Соловьев****

*Тамбовский государственный технический университет,

**Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина,

Россия, Тамбов, solovjevdenis@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается система нечеткого управления на примере технологического процесса нанесения гальванического покрытия. Для данной системы выделены лингвистические входные и выходные переменные, а также выбраны функции принадлежности и сформулирована нечеткая продукционная модель знаний. Продемонстрированы результаты работы правил для нечеткой продукционной модели на примере процесса никелирования.

Ключевые слова: управление гальваническим процессом, нечеткая логика, база знаний, продукционная модель, функция принадлежности, лингвистическая переменная.

CONTROL OF GALVANIC PROCESS WITH USING FUZZY LOGIC

D.S. Solovjev****

*Tambov State Technical University,

**Tambov State University named after G.R. Derzhavin,

Russia, Tambov, solovjevdenis@mail.ru

Abstract. The paper discusses a fuzzy control system on the example of the galvanic process. For this system, linguistic input and output variables are singled out, and membership functions are chosen and a fuzzy production knowledge model is formulated. The results of the rules for a fuzzy production model are demonstrated by the example of the nickel galvanic process.

Keywords: control of galvanic process, fuzzy logic, knowledge base, production model, membership function, linguistic variable.

Нечеткая логика с большим успехом применяется в различных приложениях управления технологическими процессами [1-3]. К причинам использования нечеткой логики в системах управления следует отнести: 1) при применении традиционного контроля необходимо знать модель и целевую функцию, сформулированные в точных терминах, что делает его очень сложным для применения во многих случаях; 2) применяя нечеткую логику для управления, имеется возможность использовать человеческий опыт для разработки контроллера; 3) нечеткие правила управления, в основном правила вида «ЕСЛИ-ТО», лучше всего применяются при разработке контроллера.

На рисунке 1 приводится структурная схема системы нечеткого управления.

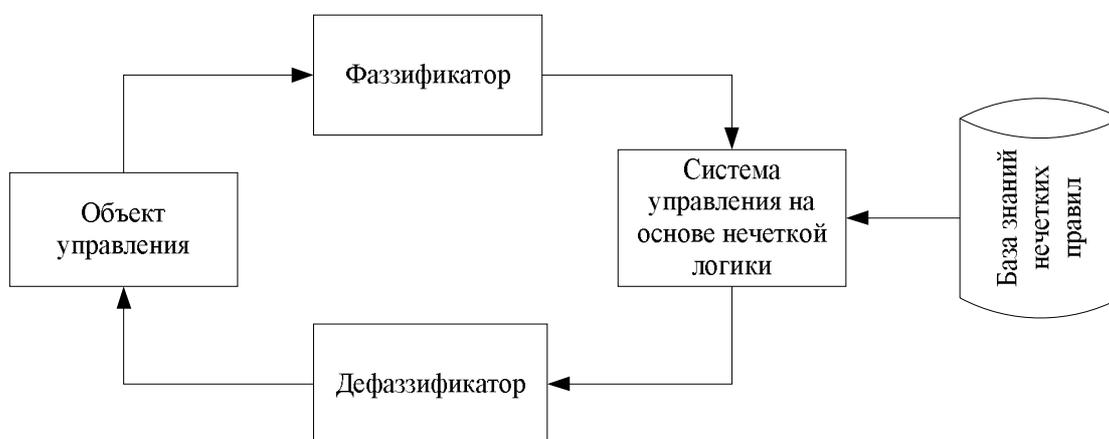


Рис. 1. Структурная схема системы нечеткого управления

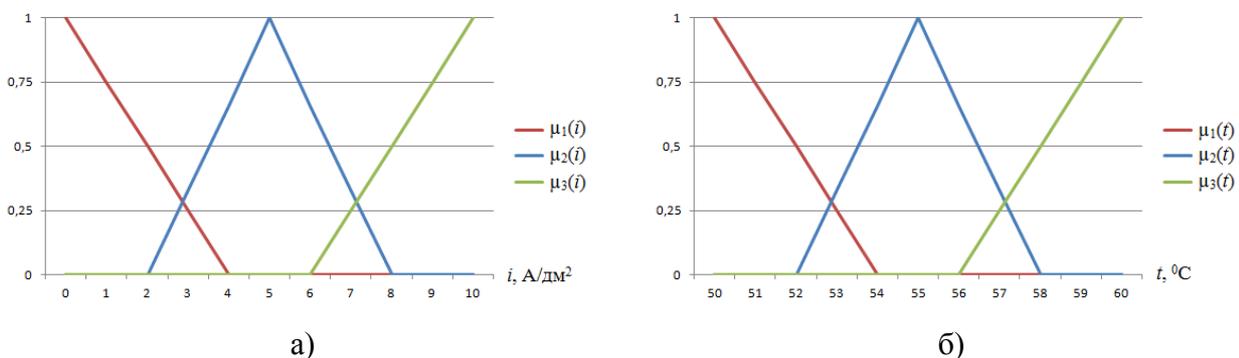
Роль фаззификатора заключается в преобразовании четких входных значений в нечеткие значения. Роль дефаззификатора заключается в преобразовании нечетких значений в четкие значения, полученные из механизма нечеткого вывода. База нечетких знаний содержит знания обо всех нечетких отношениях ввода-вывода, а также информацию о видах функций принадлежности, которые определяет входные переменные для базы нечетких правил и выходные переменные для контролируемой уставки.

Рассмотрим состав базы нечетких знаний на примере управления гальваническим процессом нанесения никелевого покрытия. Плотность тока « i » и температура электролита « t » будут выступать в качестве входных лингвистических переменных. Для переменной « i » определим следующие термы с функциями принадлежности: $\mu_1(i)$ – «низкая»; $\mu_2(i)$ – «средняя»; $\mu_3(i)$ – «высокая». Аналогичным образом поступим для переменной « t »: $\mu_1(t)$ – «низкая»; $\mu_2(t)$ – «средняя»; $\mu_3(t)$ – «высокая». Изменения плотности тока « Δi » и температуры электролита « Δt » будут выступать в качестве выходных лингвистических переменных. Переменным соответствуют термы с функциями принадлежности: $\mu_1(\Delta i)$ – «уменьшить»; $\mu_2(\Delta i)$ – «не изменять»; $\mu_3(\Delta i)$ – «увеличить»; $\mu_1(\Delta t)$ – «уменьшить»; $\mu_2(\Delta t)$ – «не изменять»; $\mu_3(\Delta t)$ – «увеличить». Совокупность функций принадлежности определяет продукционную модель поиска режимных параметров нанесения гальванического покрытия в терминах нечеткой логики.

Система правил формирует выходные значения переменных, исходя из величин значений входных переменных следующим образом:

- 1) ЕСЛИ i = «высокая» И t = «низкая» ТО Δi = «уменьшить» И Δt = «увеличить»;
- 2) ЕСЛИ i = «высокая» И t = «высокая» ТО Δi = «уменьшить» И Δt = «уменьшить»;
- 3) ЕСЛИ i = «средняя» И t = «средняя» ТО Δi = «не изменять» И Δt = «не изменять»;
- 4) ЕСЛИ i = «высокая» И t = «средняя» ТО Δi = «уменьшить» И Δt = «не изменять»;
- 5) ЕСЛИ i = «средняя» И t = «высокая» ТО Δi = «не изменять» И Δt = «уменьшить»;
- 6) ЕСЛИ i = «низкая» И t = «средняя» ТО Δi = «увеличить» И Δt = «не изменять»;
- 7) ЕСЛИ i = «средняя» И t = «низкая» ТО Δi = «не изменять» И Δt = «увеличить»;
- 8) ЕСЛИ i = «низкая» И t = «НЕ высокая» ТО Δi = «увеличить» И Δt = «не изменять»;
- 9) ЕСЛИ i = «НЕ высокая» И t = «низкая» ТО Δi = «не изменять» И Δt = «увеличить».

Функции принадлежности терм-множеств входных и выходных переменных показаны на рисунке 2.



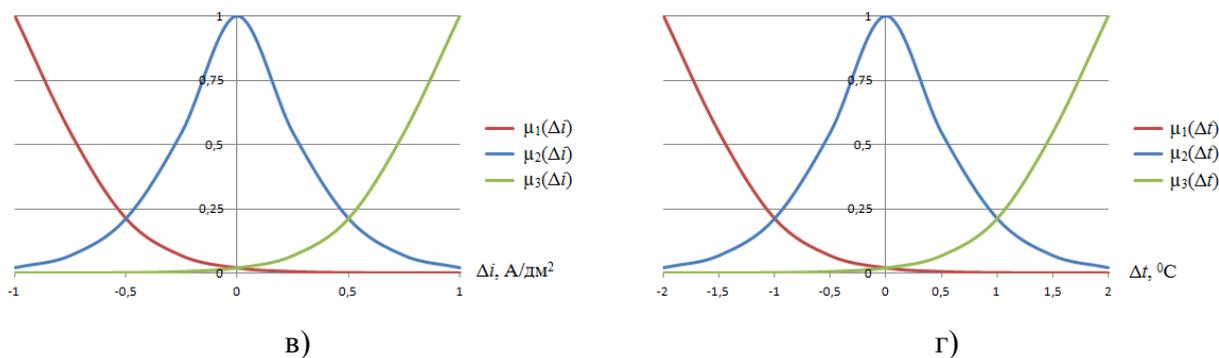


Рис. 2. Функции принадлежности терм-множеств входных (а,б) и выходных (в,г) переменных

Операцию дефаззификации для правил предлагается проводить по методу «центра тяжести», который является наиболее подходящим для решения задач оптимизации [4]:

$$\Delta i = \frac{\int_{\Delta i_{\min}}^{\Delta i_{\max}} \Delta i \cdot \mu^{\Sigma}(\Delta i) \cdot d\Delta i}{\int_{\Delta i_{\min}}^{\Delta i_{\max}} \mu^{\Sigma}(\Delta i) \cdot d\Delta i}, \tag{1}$$

$$\Delta t = \frac{\int_{\Delta t_{\min}}^{\Delta t_{\max}} \Delta t \cdot \mu^{\Sigma}(\Delta t) \cdot d\Delta t}{\int_{\Delta t_{\min}}^{\Delta t_{\max}} \mu^{\Sigma}(\Delta t) \cdot d\Delta t}, \tag{2}$$

где $\Delta i_{\min}, \Delta i_{\max}, \Delta t_{\min}, \Delta t_{\max}$ – диапазоны изменения выходных переменных;
 μ^{Σ} – итоговая функция принадлежности нечеткого множества выходной переменной.

На рисунке 3 демонстрируются результаты работы правил при четких значениях входных переменных $i = 2.4 \text{ A/dm}^2$ и $t = 57.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ с дефаззификацией выходных переменных по формулам (1) и (2). Расчеты выполнялись в пакете Fuzzy Logic среды Matlab [5].

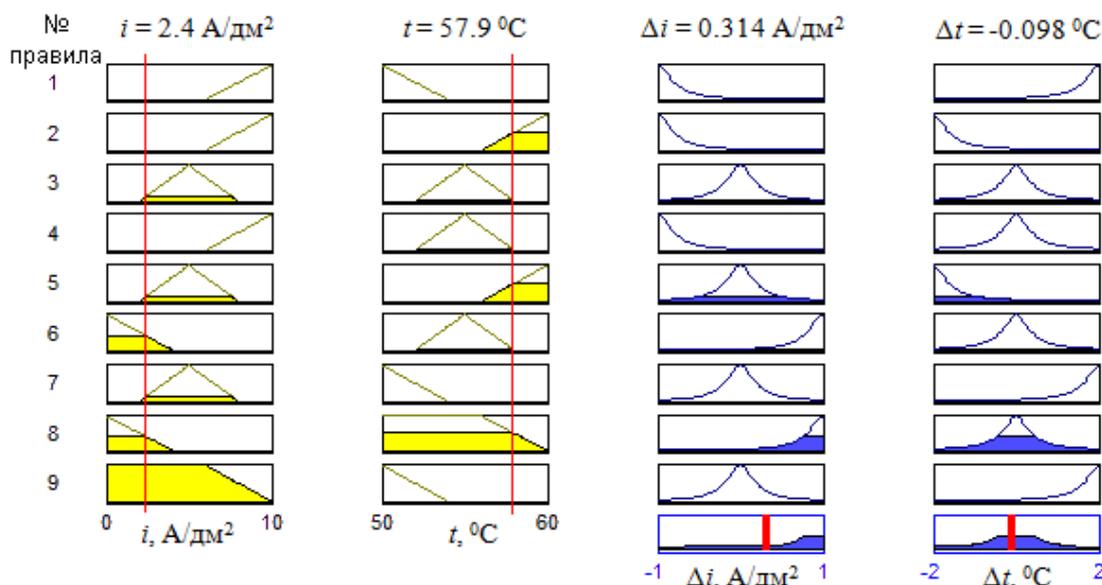


Рис. 3. Результаты работы правил для нечеткой производственной модели

К преимуществам разработанной модели по сравнению с моделями на основе закономерностей теоретической электрохимии следует отнести: повышение точности расчета в производственной модели представляется значительно более простой задачей (потребуется изменение вида функций принадлежности термов, увеличение их числа и количества правил).

Библиографический список

1. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под. ред. Д.А.Поспелова. – М.:Наука, 1986. – 312с.
2. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.
3. Усков, А.А. Системы с нечеткими моделями объектов управления. Монография. – Смоленск: СФРУК, 2013. – 153 с.
4. Лукас, В.А. Основы fuzzy-управления. – Екатеринбург: УГГГА, 2000. – 62 с.
5. Дьяконов, В.П. Математические пакеты расширения MATLAB / В.П. Дьяконов, В.В. Круглов // – СПб: Питер, 2001. – 480 с.

УДК 621.391; ГРНТИ 50.47.31

К ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПОЛУЧЕНИЯ РАВНОМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОАНОДНЫХ ВАНН

И.А. Соловьева*, Д.С. Соловьев****

**Тамбовский государственный технический университет,
Россия, Тамбов, good.win32@yandex.ru,*

***Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина,
Россия, Тамбов, solovjevdenis@mail.ru*

Аннотация. В работе сформулирован критерий неравномерности гальванического покрытия. Предложен технический подход для его снижения с использованием многоанодных ванн. Описан алгоритм решения задачи оптимального управления гальваническим процессом в многоанодной ванне.

Ключевые слова: оптимальное управление, гальванический процесс, равномерное покрытие, многоанодная ванна.

TO THE PROBLEM OF OPTIMAL MANAGEMENT BY GALVANIC PROCESSES OF OBTAINING UNIFORM COVERAGE USING MULTI ANODES BATH

I.A. Solovjeva*, D.S. Solovjev****

**Tambov State Technical University,
Russia, Tambov, good.win32@yandex.ru,*

***Tambov State University named after G.R. Derzhavin,
Russia, Tambov, solovjevdenis@mail.ru*

Abstract. In article a criterion for the non-uniformity of electroplating is formulated. A technical approach is proposed for its reduction using multi anodes baths. An algorithm for solving the problem of optimal control of the galvanic process in a multi anodes bath is described.

Keywords: optimal control, galvanic process, uniform coating, multi anodes bath.

Гальваническое покрытие – это металлическая пленка, которая при минимальной толщине позволяет защитить металлические изделия от преждевременной коррозии, одновременно с этим придавая дополнительную твердость, износостойкость и декоративные свойства [1]. Метод гальваники наибольшее распространение получил в машиностроении, на авиационных предприятиях, в сфере радиотехники, в строительной отрасли. Однако для придания обрабатываемым изделиям требуемых свойств необходимо получение качественного покрытия с точки зрения распределения его толщины по поверхности детали. Данная проблема особенно актуальна для изделий, имеющих сложную геометрическую

форму.

Гальваническое осаждение толщины покрытия на поверхности деталей никогда не бывает равномерным [2]. Фактическая толщина в любой точке поверхности детали обычно упоминается как локальная толщина. Минимальная локальная толщина покрытия обычно нормируется регламентом, чтобы обеспечить достижение требуемых эксплуатационных характеристик для деталей. Неравномерность R гальванического покрытия можно вычислить как отношение среднего значения толщины к минимальному δ^{\min} из локальных:

$$R = \frac{1}{S_c} \int_{S_c} \frac{\delta(x,y,z)}{\delta^{\min}} \cdot dS_c, \quad (1)$$

где S_c – поверхность детали-катода;

$\delta(x,y,z)$ – толщина покрытия в точке с координатами (x,y,z) .

Неоднородное распределение потенциала в электролите обычно приводит к неравномерному распределению тока на поверхности катода. К факторам, оказывающим наибольшее влияние на неравномерность наносимого покрытия, относится плотность тока. Однородность плотности тока на катоде в этом случае зависит от геометрии ячейки и от величины электродной поляризации.

В связи с вышесказанным, для расчета критерия неравномерности покрытия (1) в систему уравнений математической модели данного процесса нанесения покрытия входят законы Фарадея, Ома и уравнение в частных производных эллиптического типа, описывающее распределение потенциала в пространстве гальванической ванны со многими анодами.

Несмотря на то, что в оборудование для гальванической обработки поверхности продолжают вноситься существенные механические усовершенствования, в последние годы наиболее существенные успехи были достигнуты в разработке автоматизированных систем управления [3,4]. Достижения в области электроники и компьютерных технологий обеспечили качественный скачок, который позволил обработчикам поверхности улучшить управление процессом и мониторинг линий нанесения покрытия.

К наиболее перспективным способам улучшения равномерности гальванического покрытия относится применение ванн со многими анодами. Недостатками известных работ в данной области является: техническая сложность реализации, необходимость использования источника питания большой мощности, высокая стоимость. В предлагаемом авторами способе каждый из анодов подключен к общему источнику питания через устройство, способное регулировать величину силы тока для каждого из одновременно работающих анодов. Значение величины силы тока для каждой анодной секции подбирается из условия минимизации критерия (1).

На рисунке 1 представлена гальваническая ванна со многими анодами, отражающая сущность предлагаемого технического решения.

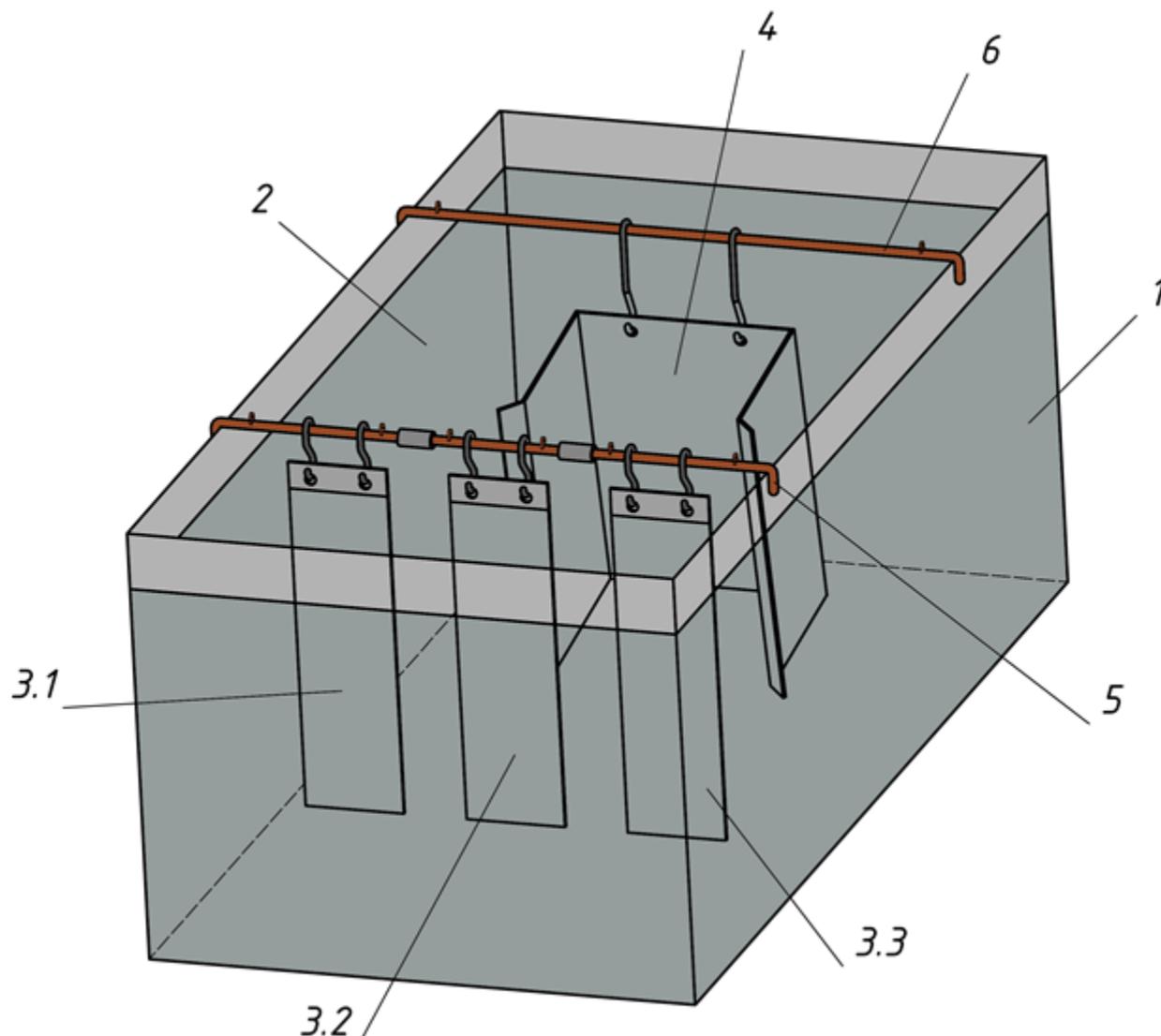


Рис. 1. Гальваническая ванна со многими анодами

В предлагаемом авторами подходе в гальванической ванне 1, заполненной электролитом 2 с системой независимых секций 3.1, 3.2 и 3.3, каждая из которых подключается к общему источнику питания через устройство (на рисунке не представлено), позволяющее реализовать оптимальный электрический режим протекания гальванического процесса для изделия-катода 4 со сложной геометрической формой. Анодные секции 3.1, 3.2, 3.3 и катод 4 подвешиваются на токоподводящих штангах 5 и 6 соответственно. Электрическая независимость режимов анодных секций обеспечивается наличием диэлектрических вставок между фрагментами штанги 5, на которых подвешены соответствующие анодные секции.

Управление гальваническими процессами в ванне со многими анодами для улучшения равномерности распределения наносимого покрытия применяется с целью удовлетворения все более строгих требований к его качеству от клиентов и повышения рентабельности таких процессов. В работе [5] обосновывается, что наилучшим поисковым алгоритмом из методов нулевого и первого порядка является метод наискорейшего спуска [6]. Данный метод достигает минимального значения критерия неравномерности (1) за самое быстрое время расчета.

Рассмотрим основные шаги данного алгоритма.

- 1) Ввод величин допустимых значений силы тока через анодные секции, точности окончания расчета и приращений направлений поиска.
- 2) Берется величина силы тока для i -го анода и увеличивается на соответствующее приращение (исследующий поиск).
- 3) Если критерий неравномерности уменьшился, то переход к п. 4, иначе – к п. 5.
- 4) Шаги в найденном направлении (поиск по образцу) до тех пор, пока получаемая величина силы тока попадает в область допустимых значений, и критерий неравномерности уменьшается, иначе переход к п. 8.
- 5) Уменьшить силу тока на соответствующее приращение и возврат к п. 3.
- 6) Если критерий неравномерности уменьшился, то переход к п. 4, иначе – к п. 7.
- 7) Оставить начальное значение силы тока.
- 8) Берется величина силы тока через $(i+1)$ -й анод и выполняются шаги, аналогичные п. 2 – п. 7.
- 9) Если найденное значение критерия (1) меньше значения в базисной точке, то переход к п. 10, иначе выполняем деление величины приращения в направлении поиска для одной из сил тока через анод и переход к п. 2.
- 10) Если требуемая точность окончания расчета критерия неравномерности (1) достигнута, то поиск оптимального токового режима закончен, иначе переход к п. 2.

Данный алгоритм предлагается использовать в дальнейшем при оптимизации режимов в многоанодной гальванической ванне.

Рассмотренный новый технологический подход к использованию многоанодных систем может быть использован для улучшения равномерности гальванических покрытий в процессе их нанесения, а также снижения потребляемой мощности от источника питания.

Библиографический список

1. Вирбилис, С. Гальванотехника для мастеров. Справочное издание под ред. А.Ф. Иванова // перевод с польского. – М.: Металлургия, 1990. – 208 с.
2. Коротин, А.И. Технология нанесения гальванических покрытий. – М.: Высшая школа, 1984. – 200 с.
3. Капустин, Н.М. Автоматизация производства: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2003. – 224 с.
4. Схиртладзе, А.Г. Автоматизация технологических процессов в машиностроении: учебное пособие / А.Г. Схиртладзе. Пермь: Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, 2010. – 505 с.
5. Соловьев, Д.С. Выбор алгоритмов оптимизации гальванических процессов в ваннах со многими анодами // Вестник современных исследований. 2018. №7-3 (22). С. 297 – 298.
6. Потапов, М.М. Методы оптимизации. Учебник и практикум / М.М. Потапов, Б.А. Будаков, Л.А. Артемьева // – М.: Юрайт, 2016. – 376 с.

УДК 693.542.5; ГРНТИ 50.47.02

КОНЦЕПЦИЯ АСУ ТП ПРОИЗВОДСТВА ФИБРОБЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛОВАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В.В. Белов, Д.Г.Абрамов

*Тверской государственной технической университет,
Российская Федерация, Тверь, daniilabramow@mail.ru*

Аннотация. В работе предлагается концепция автоматизированной системы управления технологическим процессом производства фибробетона с использованием отходов производства минераловатных изделий (АСУ ТП «ФБ_ОПМИ»). Концепция выражена схемой информационных логических связей формирования структуры композита и алгоритмом оптимизации минерального скелета в виде блок-схемы. Учтены важнейшие этапы приготовления фибробетонной смеси: дозирование ОПМИ, эффективное введение их в бетонную смесь и последующая ее гомогенизация.

Ключевые слова: автоматизация производства, автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), фибробетон, отходы производства минераловатных изделий (ОПМИ), информационные логические связи.

CONCEPT OF APCS OF FIBER-REINFORCED CONCRETE PRODUCTION WITH THE USAGE OF MINERAL WOOL WASTE PRODUCTS

V.V. Belov, D.G. Abramov

*Tver State Technical University,
Russia, Tver, daniilabramow@mail.ru*

The summary. The paper proposes the concept of an automated process control system (APCS) for production of fiber-reinforced concrete with the usage of mineral wool product manufacturing waste («APCS_MWPMW»). The concept is expressed by the scheme of information logical connections of formation of composite structure and optimization algorithm of mineral skeleton in form of a flowchart. The most important stages of fiber-reinforced concrete mixture preparation were taken into account: the dosing of MWPPW, effective introduction of MWPPW into the concrete mixture and their subsequent homogenization.

Keywords: production automation, automated process control system (APCS), fiber-reinforced concrete (FRC), mineral wool product manufacturing waste (MWPMW), information logical connections.

В современном мире одним из важнейших методов по улучшению качества изготавливаемой продукции, увеличению продуктивности и рабочих условий является использование АСУ ТП на промышленных предприятиях [1]. Особенно актуальна сегодня автоматизация производстве различных строительных материалов, в том числе фибробетонов. Такой строительный материал как фибробетон становится сегодня все более и более популярном в различных областях строительства. Этот композит состоит из бетона и фибр. Фибры могут быть различных видов и размеров, а также из разных материалов, как правило, они имеют произвольную ориентацию, при этом, обчно считается, что они более-менее равномерно распределены в фибробетоне [2]. Фибробетон обладает большой прочностью и долговечностью, поэтому такая разновидность бетона с успехом применяется в конструкциях дорог, аэропортов, мостов, небоскребов и еще при строительстве многих других объектов. Для достижения желаемых характеристик фибробетона, волокна должны быть как можно более равномерно распределены в бетонной смеси [3]. В особенности данное утверждение касается волокнистых базальтовых отходов (ВБО) [4], которые рассматриваются в данной статье. С данным видом фибр достаточно сложно работать, так как они предъявляют к себе повышенные требования по работе с ними, когда дело заходит об их внедрении в бетонную смесь и последующей её гомогенизации [5]. В добавок к этому, внедрение немного большего или немного меньшего количества данной добавки, чем по расчету, на прямую влияет на качество получаемого фибробетона. В связи с этим фактом

применение АСУ ТП на бетонных заводах, где производится как обычный бетон, так и фибробетон, в том числе с применением в качестве фибры ВБО, необходима для получения качественного конечного продукта.

Технология приготовления играет ключевую роль в производстве фибробетонов [2-3]. В настоящее время технология приготовления базальтофибробетона развивается по двум направлениям. Это метод виброэкструзии и метод принудительного перемещения [6]. Будем подразумевать, что именно второй метод перемешивания используется в нашей концепции АСУ ТП «ФБ_ОПМИ» в дальнейшем, так как данный вид перемешивания не требует дополнительного оборудования или специальных технологических линий. При методе принудительного перемещения производство бетонных смесей и их транспортировка осуществляются обычным способом. Однако, известен тот факт, что при использовании метода принудительного смешивания, для того, чтобы достичь необходимые физико-механические свойства фибробетона требуется повышенный расход фибры по сравнению с методом виброэкструзии. В источнике [7] доказано, что приготовление фибробетонной смеси в смесителях принудительного действия более эффективно по сравнению с другими методами.

Когда речь заходит о производстве фибробетона с использованием ОПМИ, то появляется насущная необходимость включения дополнительных и вспомогательных операций в процесс производства фибробетона. Как следствие, требуется усовершенствование существующих АСУ ТП путем разработки и внедрения в них новых технологических операций (дозировка ВБО, эффективный способ их введения в фибробетонную смесь с последующей гомогенизацией) для того, чтобы изготовить рассматриваемый в данной работе композит.

Разработка автоматизации таких важных и базовых процессов в технологии бетона как дозировка, внедрение и перемешивание фибры (в данном случае ВБО) в бетонную смесь, имеет чрезвычайно важную роль в формировании физико-механических свойств фибробетона.

Как уже было упомянуто ранее, в нашей работе рассматриваются ОПМИ, которые можно условно разделить на ВБО и пылевидные базальтовые отходы (ПБО). ВБО образуются в процессе производства утеплителя из базальтовой ваты, а именно при обработке минераловатных изделий. ВБО являются по своей сути дисперсно-армирующими компонентами, а ПБО минеральной тонкодисперсной добавкой. Их совместное применение в получении мелкозернистого бетона и газобетона способствует улучшению физико-механических и эксплуатационных характеристик строительных композитов.

На основе уже проведенных исследований [8-9] стало известно, что при введении ВБО в газобетон повышается его прочность и уменьшается трещинообразование благодаря хорошему сцеплению волокон с цементным камнем. Учеными ТвГТУ была запатентована рецептура газобетона на основе ОПМИ в РФ [4]. ВБО также усиливает и стабилизирует микроструктуру газобетона, улучшает его способность к деформированию. Использование ПБО помогает сохранить такие компоненты для приготовления газобетона, как песок, известняк и упрочняющие добавки без снижения качества материала [9].

В нашей статье [5] уже затрагивалась тема влияния местных отходов производства базальтовой ваты на тяжелые бетоны, в ходе работы было выявлено, что эти отходы являются эффективной упрочняющей добавкой и для мелкозернистого бетона. Проведенные исследования показывают, что оптимальная дозировка ВБО и ПБО при определенном методе введения их в мелкозернистую бетонную смесь с последующей гомогенизацией позволяют добиться значительного повышения пределов прочности бетонных образцов на сжатие и на

растяжение при изгибе.

Таким образом, автоматизация приготовления фибробетона с использованием ПБО и ВБО актуальна, так как использование данных отходов в качестве комплексной добавки значительно повышает прочностные характеристики цементного композита, приносит большой экономический эффект в производстве и помогает значительно сократить пагубное влияние на окружающую среду во время производственного процесса.

В современном мире контроль за параметрами приготовления высококачественной бетонной смеси в настоящее время осуществляется с помощью специально разрабатываемых автоматизированных систем управления бетоносмесительными установками (АСУ БСУ) [10-12].

АСУ ТП производства бетонных смесей предназначена для эффективного контроля и управления технологическим процессом, начиная от подачи материалов со складов и заканчивая выдачей бетонной смеси потребителям. Цель контроля - повышение экономичности, ритмичности и качества производства, своевременного обеспечения потребителей необходимым количеством смесей заданных параметров.

На основе всего вышеизложенного на рисунке 1 представлены результаты экспериментальных исследований влияния ОПМИ на фибробетон, а именно на его структуру и свойства.

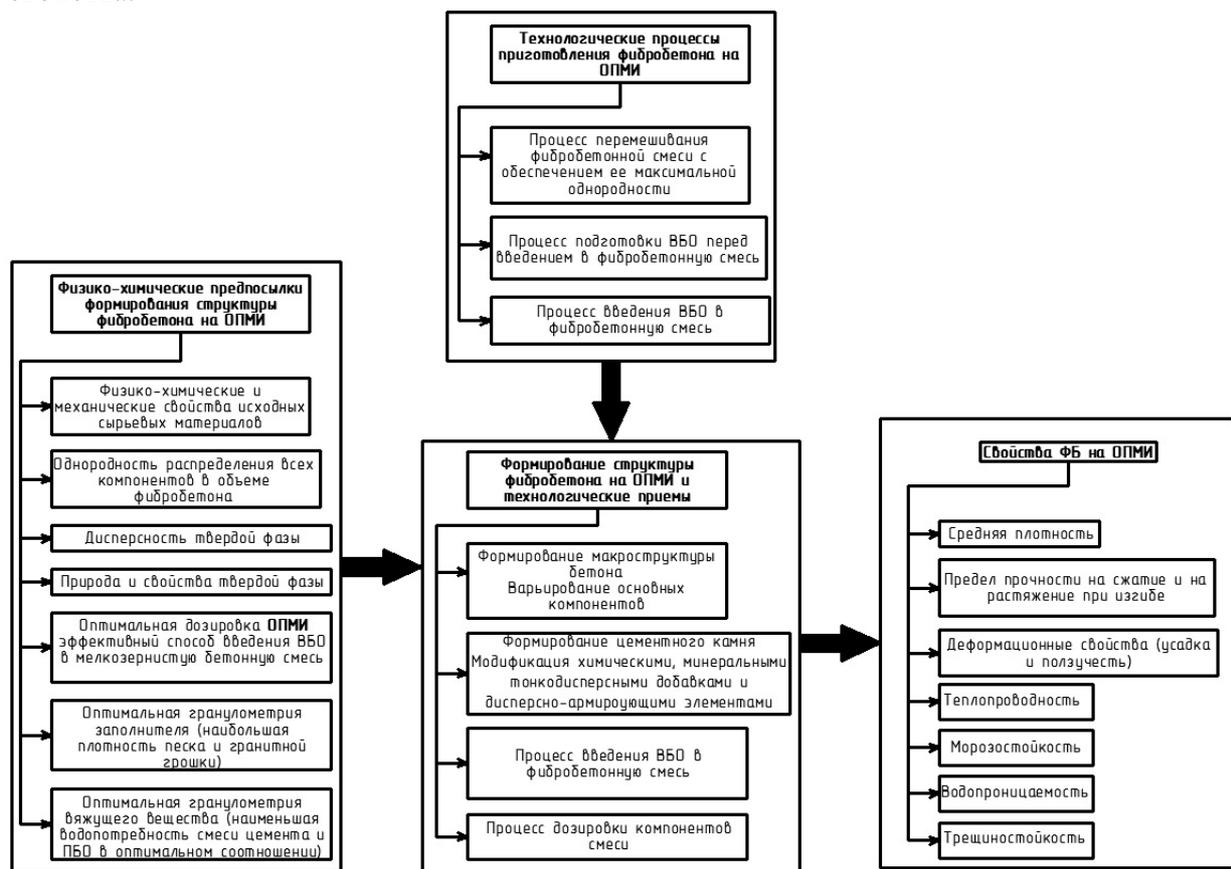


Рис. 1. Схема информационных логических связей при формировании структуры фибробетона с использованием ОПМИ

Предлагаемая модель, реализующая комплексный подход, устанавливает взаимосвязь между физико-химическими предпосылками формирования структуры фибробетона, структурообразованием и свойствами материала. Формирование микро- и макроструктуры фибробетона осуществляется за счет четких и отлаженных технологических процессов

приготовления композита, в особенности таких важнейших из них, как подготовка, дозировка в оптимальных количествах ОПМИ, эффективное введение ВБО в бетонную смесь и их смешивании наиболее эффективным способом, при котором все компоненты смеси распределяются как можно более однородно. В свою очередь, структура определяет выходные факторы, то есть основные свойства фибробетона: среднюю плотность, пределы прочности на сжатие и на растяжение при изгибе, деформационные характеристики (усадка и ползучесть), теплопроводность, морозостойкость, водопроницаемость, трещиностойкость.

Общим требованием ко всем композициям для изготовления высококачественных высокотехнологичных бетонов является оптимизация гранулометрического состава заполнителей с целью обеспечения наиболее плотной упаковки зерен. В связи с этим, для обеспечения наибольшей компактности и однородности бетонной структуры необходима такая оптимальная гранулометрия, при которой учитываются, как мелкие, так крупные частицы.

В процессе производства фибробетона с использованием ОПМИ необходимо также использовать оптимальное соотношение между компонентами минерального скелета, для достижения наилучшего эффекта. В нашей работе были определены оптимальные распределения сферических частиц по размерам на основании «идеальных» гранулометрических кривых и выявлена наиболее плотная система. Причем построение геометрической модели происходило в соответствии с блок-схемой алгоритма, изображенного на рисунке 2 [13-15].

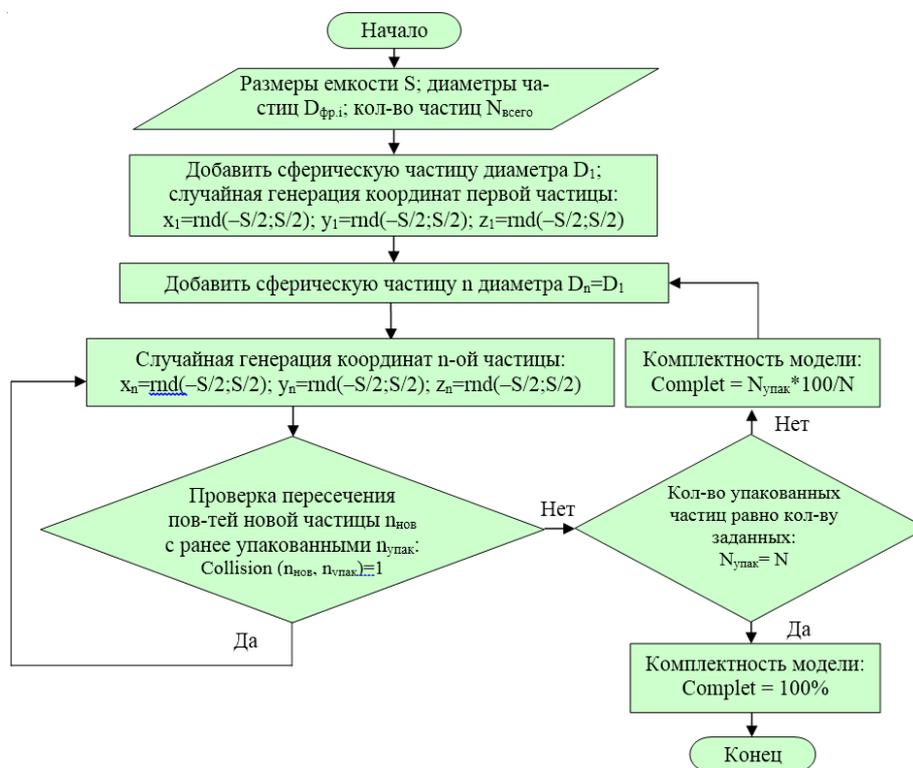


Рис. 2. Блок-схема алгоритма моделирования системы сфер в ограниченном объеме

Необходимо отметить, что приведенный ниже алгоритм будет в дальнейшем использоваться в производстве рассматриваемого в данной работе фибробетона.

В результате наших исследований была разработана концепция эффективного способа автоматизации производства мелкозернистого фибробетона на ОПМИ. Разработанная

концепция АСУ ТП «ФБ_ОПМИ» описывает важнейшие этапы производства бетона на заводе-изготовителе. Представлены разработанная в данной работе схема информационных логических связей при формировании структуры фибробетона на ОПМИ и блок схема алгоритма оптимизации структуры минерального скелета при моделировании. Концепция включает в себя подробное описание дозирования ОПМИ, эффективное введение ВБО в бетонную смесь и последующую гомогенизацию наиболее эффективным способом. Разработаны технологические основы, необходимые для автоматизации производства.

Подход, описанный в статье позволяет сократить ручной труд увеличить эффективность, экономический эффект и сохранить природу, а также улучшить контроль за расходом сырья и выработкой продукции. Готова опытно-теоретическая база для дальнейшей разработки АСУ ТП «ФБ_ОПМИ».

Библиографический список

1. Беркут А.И. Теоретические основы, методы и средства адаптивного управления процессом приготовления товарного бетона: Дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 2003.
2. Abbas U. Materials Development of Steel-and Basalt Fiber-Reinforced Concretes // Norwegian University of Science and Technology, 2013, 162 p.
3. Пухаренко Ю.В. Особенности приготовления фибробетонных смесей // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 1 (30). – С. 157–162.
4. Состав сырьевой смеси для изготовления неавтоклавного газобетона // Патент России № 2616303. 2017. Бюл. № 11. / Белов В.В., Али Рушди Ахмед.
5. Белов В.В., Абрамов Д.Г. Повышение прочностных характеристик цементного бетона за счет применения местных базальтовых отходов: В сборнике: Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций / сборник материалов всероссийской научно-технической конференции. Издательство Мордовского университета. 2018. С. 24-29.
6. Di-Hua Tong, Xue-Ren Wu, Analysis of crack opening stresses for center and edge crack tension specimens. Chinese Journal of Aeronautics, 2014, № 27, pp.291-298.
7. Колбаско Э.Б., Кусов Д.А., Гребенщиков О.В. Надежность и долговечность железобетонных конструкций, армированных базальтовым волокном. В сб. "Реализация научно-технических достижений – основа совершенствования сельского строительства". Ростов-на-Дону, СКВКВНИПИ агропром, 1986, с. 79.
8. Белов В.В., Али Р.А. Влияние волокнистых базальтовых отходов на характеристики неавтоклавного газобетона // Научное обозрение. 2016. № 15. С. 48-54.
9. Белов В.В., Али Р.А. Дисперсно-армированный газобетон с использованием базальтовых отходов // Цемент и его применение. 2016. № 3. С. 78-81.
10. Остроух А.В., Недосеко И.В., Айсарина А.А., Струговец М.И. Проектирование автоматизированной системы управления заводами и установками по производству растворных и бетонных смесей // Строительные материалы. – 2015. – №10. – С. 70-74.
11. Остроух А.В., Недосеко И.В., Айсарина А.А. Автоматизированная система управления бетонным заводом с двумя бетоносмесительными узлами // В мире научных открытий. – 2015. – № 8.1(68). – С. 316-326
12. Кабир М.Р., Исмоилов М.И., Остроух А.В. Автоматизированная система управления бетонным заводом // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 3 (11). – С. 178-190.
13. Белов, В.В. Компьютерная реализация решения научно-технических и образовательных задач: учебное пособие / Белов, В.В., И.В. Образцов, В.С. Иванов, Е.Н. Коноплев. Тверь: ТвГТУ, 2015. 102 p.
14. Белов, В.В. Компьютерное моделирование в технологии строительных материалов / В.В. Белов, И.В. Образцов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2012. – № 7 (162). – С. 41–43
15. Белов, В.В. Компьютерное оптимизирование зерновых составов строительных композитов на основе цементно-минеральных смесей / В.В. Белов, И.В. Образцов // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 2 (58). С. 83–89 с.

УДК 621.387; ГРНТИ47.29.33

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАСЧЁТУ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ОБЛАСТИ КАТОДНОГО ПЯТНА ПРИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ПОТОКАХ ЭНЕРГИИ

Р. Н. Дятлов*, Е. В. Тинина**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, kaitp@list.ru,

**Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета,
Российская Федерация, Рязань, elena.tinina2012@yandex.ru

Аннотация. Проведён расчёт температурных полей в области катодного пятна при высокоинтенсивных потоках энергии дугового разряда. Рассмотрена связь процессов в области катодного пятна с решением неоднородного уравнения теплопроводности. Определено расположение границы жидкой фазы и расплава к поверхности катода.

Ключевые слова: катодное пятно, разрядник, вакуумная электроника, тепловые процессы, катод.

THEORETICAL APPROACH TO THE CALCULATION OF TEMPERATURE FIELDS IN THE AREA OF CATHODE SPOT AT HIGH-INTENSITY ENERGY FLOWS

R. N. Dyatlov*, E. V. Tinina**

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, kaitp@list.ru,

**Ryazan Institute (branch) Moscow Polytechnic University,
Russia, Ryazan, elena.tinina2012@yandex.ru

Abstract. The temperature fields in the region of the cathode spot are calculated at high-intensity energy flows of the arc discharge. The connection between the processes in the cathode spot and the solution of the inhomogeneous heat equation is considered. The location of the boundary between the liquid phase and the melt to the cathode surface is determined.

Keywords: cathode spot, gas discharge devices, vacuum electronics, thermal processes, cathode.

На практике имеется класс задач, в которых рассматриваются процессы, связанные с выделением тепла в металлах и фазовыми превращениями в них. Передача тепла в объём материала происходит посредством теплопроводности, поэтому разработанные методы решения данных задач основаны на расчёте тепловых процессов на электродах электронных и газоразрядных коммутаторах и, в частности, в разрядниках [1,2]. При пробое разрядника энергия из разряда поступает на катод через катодное пятно. Так как катодное пятно имеет малые размеры, то поступающая энергия на катод в высокой степени локализована. Это приводит к нагреву материала катода в области пятна до высоких температур. При достаточно большой удельной мощности теплового потока на катод материал в области пятна начинает плавиться и испаряться, что является одной из главных причин эрозии электродов разрядников.

Анализ процессов в области катодного пятна связан с решением неоднородного уравнения теплопроводности. В виду подобия процессов на электродах в защитных разрядниках и при электроэрозионной обработке металлов для решения уравнения теплопроводности был взят метод, изложенный в [3].

Рассмотрим допущения, принятые при решении уравнения теплопроводности.

1. Тепловой поток, поступающий из разряда на катод, равномерно распределён по поверхности катодного пятна (плоский источник).
2. Металл в области катодного пятна находится в жидком состоянии.
3. Влияние испарения материала с катодного пятна на его температурный режим не учитывается.
4. Температура расплава в области катодного пятна – постоянная.

5. Материал катода однородный.
6. Отвод тепла из расплава происходит внутрь катода за счёт теплопроводности.

Результаты расчёта и анализ. Схема расчёта показана на рисунке 1. На электрод падает тепловой поток $q(t)$. Под его воздействием металл начинает плавиться, а граница плавления металла перемещается внутрь электрода и в некоторый момент времени составляет глубину l . В следующий отрезок времени dt граница расплава переместится на dl и будет отстоять от поверхности на величину $l+dl$. На это потребовалось количество тепла $q_n=L\rho dl/dt$, где L —удельная теплота плавления; ρ —плотность материала.

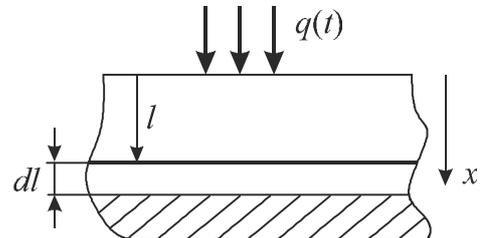


Рис. 1. Схема расчёта

Через границу раздела расплав-твёрдая фаза металла вглубь электрода проходит тепловой поток за счёт теплопроводности $q_m=-\lambda_2 dT_2/dx$, где λ_2 — теплопроводность материала электрода, T_2 — температура материала электрода, примыкающая к границе раздела.

С учётом потоков q_n и q_m условие на границе расплава и твёрдой фазы имеет вид

$$L\rho dx / \delta t = \lambda_1 \delta T_1 / \delta x - \lambda_2 \delta T_2 / \delta x, \quad (1)$$

где λ_1 — теплопроводность жидкой фазы электрода;

T_1 — температура жидкой фазы электрода.

Неизвестные температуры T_1 и T_2 находятся решением уравнений теплопроводности:

$$\text{для области } 0 \leq x \leq l : \delta T_1 / \delta t = \alpha_1 \delta^2 T_1 / \delta^2 x; \quad (2)$$

$$\text{для области } l \leq x \leq \infty : dT_2 / dt = \alpha_2 \delta^2 T_2 / \delta^2 x, \quad (3)$$

где $\alpha_1=\lambda_1/(c_1\rho)$, $\alpha_2=\lambda_2/(c_2\rho)$ — коэффициенты температуропроводности жидкой и твёрдой фазы;

c_1 и c_2 — удельные теплоёмкости жидкой и твёрдой фазы материала электрода, соответственно.

Решения уравнений (2) и (3) удовлетворяют следующим условиям:

начальное условие:

$$T_1(0,0)=T_c=\text{const};$$

граничные условия:

$$T_1(x,t)=T_2(x,t)=T_n;$$

$$T_1(x,0)=T_0;$$

$$T_1(\infty,0)=T_0.$$

При этом температура на поверхности катодного пятна T_c выше температуры плавления металла, но не превышает температуру кипения расплавленного металла. Температура T_0 соответствует температуре окружающей среды.

Решение уравнений (2) и (3) приводит к выражениям, которые описывают температурное поле в жидкой фазе материала катода

$$T_1 = T_c - \frac{T_c - T_{пл}}{\operatorname{erf}\left(\frac{a}{2\sqrt{\alpha_1 t}}\right)} \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha_1 t}}\right); \quad (4)$$

и в твёрдой фазе материала

$$T_1 = T_0 + \frac{T_{пл} - T_0}{\operatorname{erf}\left(\frac{a}{2\sqrt{\alpha_2 t}}\right)} \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha_2 t}}\right). \text{ Ошибка! Закладка не определена.}$$

Здесь a – параметр, значение которого определяется из уравнения (1).

Из выражений (4) и (5) следует, что изменение температуры в области катодного пятна описывается функцией erf , зависящей от аргумента. Математически это означает следующее. Распространение тепла вглубь катода протекает таким образом, что температура быстро снижается при удалении от поверхности катодного пятна. Функция erf рассчитана, её значения приведены в литературе [4].

Расчёты проводились при температуре T_c поверхности катодного пятна в диапазоне от 4400 до 5600 К. В качестве материала катода использовался вольфрам: температура плавления $T_{пл}=3683\text{К}$, температура кипения $T=6728\text{ К}$. Температура окружающей среды $T_0=293\text{ К}$. Значения теплопроводности, плотности и теплоёмкости соответственно равны: $\lambda=0,42\text{ кал}/(\text{см}\cdot\text{с}\cdot\text{К})$, $\rho=19,3\text{г}/\text{см}^3$, $c=0,32\text{ кал}/(\text{г}\cdot\text{К})$. Результаты расчётов представлены на рисунках 2,3 и 4.

Температура катодного пятна определяется тепловым потоком, поступающим из дуги разряда. При возрастании энергии потока при неизменном радиусе пятна энергия, поступающая в пятно, возрастает пропорционально его площади. Количество тепла, отводимого от пятна за счёт теплопроводности, пропорционально его линейному размеру. Когда теплопроводность не сможет обеспечить отвод тепла, поступающего из разряда, то определённая доля энергии теплового потока идёт на плавление металла в области катодного пятна. Чем выше энергия теплового потока из разряда и, в связи с этим, начальная температура T_c пятна, тем больше зона расплавления металла в области катодного пятна. Граница расплава и твёрдой фазы смещается вглубь катода (рисунок 2). Высокотемпературное поле с температурой выше температуры плавления – жидкая фаза металла – не проникает глубоко в катод. Например, при разности температур ($T_c - T_{пл}$) около 2000 К граница располагается от поверхности катодного пятна на расстоянии нескольких микрон (рисунок 2, зависимость 2). В связи с этим начальные значения координаты температуры T_2 в распределении температурного поля располагаются дальше от поверхности катодного пятна (рисунок 3). Ход данных кривых не зависит от температуры T_c . Также получены следующие значения расположения границы расплава и твёрдой фазы: для температуры $T_c=4400\text{ К}$ граница располагается на глубине 1,5 мкм, а при $T_c=5600\text{ К}$ – на глубине 2,8 мкм.

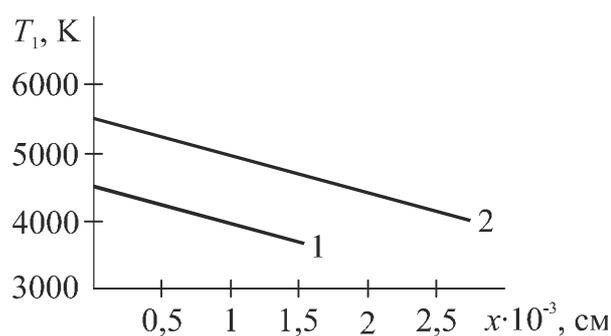


Рис. 2. Зависимость распределения температуры материала катода для жидкой фазы при температурах катодного пятна: 1 – $T_c=4400\text{ К}$, 2 – $T_c=5600\text{ К}$

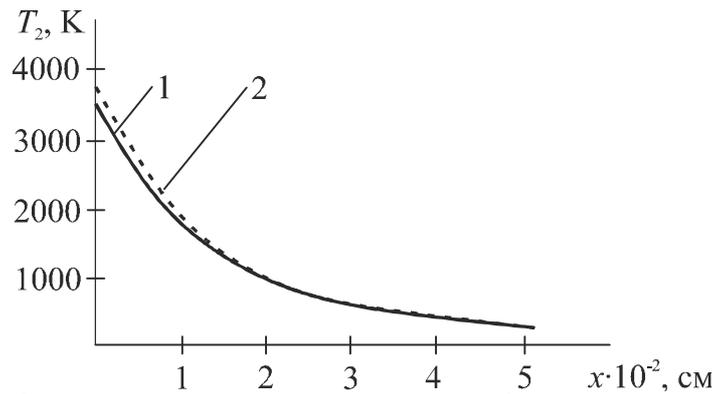


Рис. 3. Распределение температуры в твёрдой фазе материала катода при температурах катодного пятна:
1 – $T_c=4400$ К; 2 – $T_c=5600$ К

В расчётах использовались усреднённые данные таких параметров, как плотность, теплопроводность, теплоёмкость. Поэтому кривые распределения температур не стыкуются на границе фазовых превращений (рисунок 4).

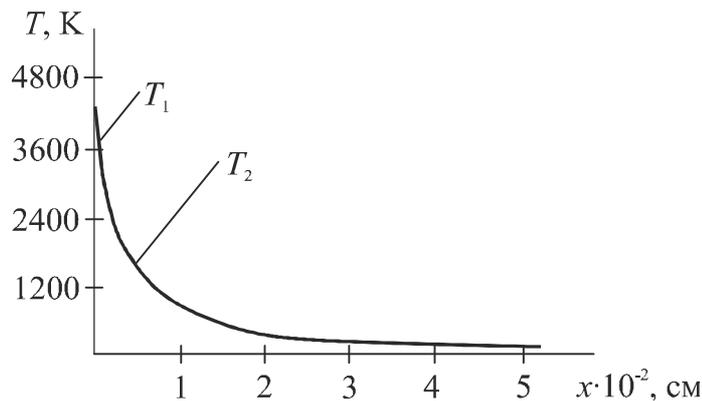


Рис. 4. Распределение температуры в жидкой и твёрдой фазах катода при температуре катодного пятна $T_c=4400$ К

Рассмотренная модель не учитывает испарение с катодного пятна. Принимая во внимание, что скорость испарения связана экспоненциальной зависимостью с температурой, то можно ожидать, что расположение границы жидкой фазы и расплава будет располагаться ближе к поверхности катода.

Библиографический список

1. Будаков Б.М., Самарский А.А. Сборник задач по математической физике. М.: Наука, 1972. – 150 с.
2. Лазерная и электролучевая обработка материалов: Справочник / Под ред. Н. Н. Рыкалина и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
3. Золотых Б.Н. Физические основы электрофизической и электрохимических методов обработки. – М.: МГУ, 1975. – 70 с.
4. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / Под ред. М. Абрамовица и Н. Стиган. – М.: Наука, 1979. – 832 с.

УДК 004.382.4: 004.423.22; ГРНТИ 50.41.25

ПРОГРАММИРОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ НА ЯЗЫКЕ СИ

К.Ю. Цветков, Т.А. Куличенко, А.С. Тужилкин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, tsvetkov.k.yu@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается разработка особой файловой системы для работы с micro SD картами. Предполагается выполнение операций от инициализации карты памяти до записи окончательно сформированных данных на носитель. Приводится пояснение базовых операций, выполняемых в ходе работы системы. Конечным результатом является программный код разрабатываемой системы.

Ключевые слова: микроконтроллер, micro SD карта, программирование.

PROGRAMMING OF MICROCONTROLLERS IN THE LANGUAGE OF C

K.Yu. Tsvetkov, T.A. Kulichenko, A.S. Tuzhilkin

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, tsvetkov.k.yu@yandex.ru*

Annotation. The paper discusses the development of a special file system for working with micro SD cards. It is supposed to perform operations from initializing the memory card to writing the final data to the media. An explanation of the basic operations performed during the operation of the system. The end result is the program code of the system being developed.

Keywords: microcontroller, micro SD card, programming.

В настоящее время микроконтроллеры применяются для решения задач различного уровня сложности. Их частое использование объясняется небольшими габаритными размерами, незначительным токопотреблением, большой производительностью и множеством встроенных аппаратных возможностей (операций) [2].

В данной статье рассматривается разработка специализированной файловой системы для обмена данными с micro SD картами. Принципиальная особенность заключается в правах доступа к записи и чтению данных с носителя. Предполагается, что работа с картой памяти может вестись исключительно описываемой в данной статье файловой системой, таким образом, данные будут защищены от чтения сторонними системами [3].

Перед описанием особенностей работы с микроконтроллерами хотелось бы определиться с конкретным устройством, под которое будет разрабатываться файловая система. После сравнения нескольких моделей был выбран МК STM32F103CBT6 (семейства STM32F10x) с ядром ARM Cortex M3. Из основных характеристик устройство стоит отметить возможность достижения тактовой частоты до значения 72 МГц, объем памяти до 128 Кб, 32-битный. Микроконтроллер наглядно представлен на рисунке 1 [4].



Рис. 1. Микроконтроллер серии STM32F103

После определения нужного именно нам микроконтроллера можно переходить к анализу задач и разработке программного кода.

В начале хотелось бы остановиться на некоторых особенностях программирования микроконтроллеров. В нашем случае будут использоваться побитовые операции с данными, которые редко используются в стандартном программировании. В нашем программном коде будут использоваться следующие операции взаимодействия с битами регистра: & (логическое умножение), | (логическое сложение), << (сдвиг влево), |= (логическое сложение значений переменных справа и слева с последующей записью результата в переменную, расположенную справа) [1].

После рассмотрения особенностей программирования микроконтроллеров можно перейти к описанию задач проектируемой системы.

Началом работы системы после ее запуска будет инициализация SD карты в устройстве, затем будет выполнено открытие карты и проверка содержимого на предмет его соответствия структуре файловой системы. При успешном завершении предшествующих операций в памяти формируется область для загрузки данных в соответствии с файловой системой; определяется начальный адрес блока SD карты для чтения и записи; далее в ответ на команду от программы в память контроллера будет считан блок с данными из носителя. После завершения операции чтения данных с носителя пользователь или программа выполняет их обработку или корректировку, что требует дальнейшего сохранения информации обратно в память устройства. В ответ на сообщение от карты по поводу ее готовности к приему информации начинается поиск конца файла, затем выполняется многоблочная запись данных в регистры памяти карты и запись блока в карту с информацией об окончании файла.

Выше был описан общий алгоритм функционирования системы по обмену данными через микроконтроллер с картами памяти типа «SD». Каждому этапу этой последовательности соответствует отдельная процедура в программном коде, отвечающая за выполнение ряда задач, приводящих к получению указанного выше результата.

В программе работы файловой системы встречаются особые команды, разработанные для обеспечения работоспособности пакета. Рассмотрим некоторые из них. Команды для управления картой: CMD0 (программный сброс), CMD1 (запускает процесс инициализации носителя), CMD12 (остановка (прерывание) чтения данных), CMD17 (команда для начала чтения информации с карты), CMD18 (считывание множества блоков), CMD24 (запись блока) и CMD25 (запись множества блоков). Команды для узла: 0xCC01 (запрос на чтение), 0xCC02 (запрос на запись структуры файловой системы), 0xCC03 (команда окончания чтения файловой системы), 0xCC04 (команда чтения файла), 0xCC05 (запись файла), 0xCC06 (окончание чтения/ записи файла), 0xCC07 (продолжение работы) и 0xCC08 (команда к форматированию файловой системы). Для корректной работы системы в ней используются переменные, отображающие и хранящие следующую информацию: временные переменные для хранения промежуточных результатов вычислений, статус и аргумент команд, контрольные суммы для чтения и записи как отдельных блоков данных, так и множества блоков; информация о количестве записанных байт в карту памяти, глобальный адрес для чтения и записи, буфер для работы с SD картой, флаг (указатель) готовности карты к работе, идентификатор сектора под файловую систему, усредненная скорость сортировки, начальный и конечный адрес чтения и записи, время создания файла; несколько указателей-переменных.

Для наглядного пояснения функционирования работы системы рассмотрим процедуру чтения блока данных с карты памяти, представленную ниже.

// чтение блока из SD/MCC карты

```
unsigned char SD_ReadBlock()
{
    // передача команды чтения
    if(SD_CMD(CMD17,sd_address)==0)
    {
        // задание начальных значений
        sd_status = 0;
        sd_crc_r = 0;
        // подготовка к чтению данных
        // ожидание маркера начала пакета
        while(sd_status!=0xFE)
            sd_status = TR_SPI2(0xFF);

        // чтение ID сектора
        sd_status = TR_SPI2(0xFF);
        // младший байт
        sd_sector_id = sd_status;
        sd_status = TR_SPI2(0xFF);
        // старший байт
        sd_sector_id |= (sd_status<<8);

        // чтение пакета данных (весь сектор)
        // цикл по блокам сектора
        for(i_sd=0;i_sd<508;i_sd++)
        {
            // запись статуса команды
            sd_status = TR_SPI2(0xFF);
            // вычисление контрольной суммы
            sd_crc_r = sd_crc_r + sd_status;
            // заполнение рабочего буфера
            sd_buffer[i_sd] = sd_status;
        }

        // чтение контрольной суммы
        sd_status = TR_SPI2(0xFF);
        // младший байт
        sd_crc_r2 = sd_status;
        // обновление статуса
        sd_status = TR_SPI2(0xFF);
        // старший байт
        sd_crc_r2 |= (sd_status<<8);

        // чтение ненужной контрольной суммы
        sd_status = TR_SPI2(0xFF);
        sd_status = TR_SPI2(0xFF);
        TR_SPI2(0xFF); // пауза
    }
}
```

```
        // проверяем на корректность полученного блока
        if((sd_crc_r == sd_crc_r2)&(sd_sector_id == ID_SECTOR))
        {
            return 1; // прочитанный блок правильный
        }
        else
        {
            return 2; // блок не правильный, контрольная сумма не совпала
или он не форматирован
        }
    }
    else return 0;
}
```

Дадим некоторые пояснения представленному программному коду. После передачи команды к считыванию данных и определения начального адреса путем его сравнения, начинается последовательное чтение информации. Сначала определяется ID сектора памяти, затем определяются младший и старший байт; выполняется считывание пакета данных в буфер с промежуточным вычислением контрольной суммы, указывающей на безошибочную работу. После завершения операции заполнения буфера вновь определяются младший и старший байт, в переменную записывается контрольная сумма. Финальным этапом выполнения процедуры является проверка корректности полученного блока данных путем сравнения значений контрольных сумм. В результате функцией возвращается одно из двух значений: «1» (означает корректность полученного блока данных) и «2» (что означает несовпадение контрольных сумм, свидетельствующее о неправильности блока или невыполнении его форматирования).

Таким образом, была рассмотрена процедура чтения блока данных с SD карты, которая завершается сохранением информации в буфере и проверкой контрольной суммы. При работе системы после выполнения данной процедуры происходит синхронизация работы с компьютером, а затем завершается передача файла данных. После этого происходит формирование файловой системы на носителе: после готовности устройства к приему данных выполняется форматирование и запись данных.

Выше был описан механизм работы специализированной системы, позволяющей считывать и записывать информацию на конкретный носитель исключительно с использованием данной библиотеки.

Библиографический список

1. Васильев А.Н. Программирование на C в примерах и задачах. - М.: Издательство "Э", 2017. - 560 с.
2. Редькин П.П. 32/16-битные микроконтроллеры ARM7 семейства AT91SAM7 фирмы Atmel. М.: Додэка XXI, 2008.
3. Магда Ю.С. Программирование и отладка C/C++ приложений для микроконтроллеров ARM. - М.: ДМК, 2012. - 168 с.
4. STM32F103CBT6, Микроконтроллер 32-Бит, Cortex-M3, 72МГц, 128КБ Flash, USB, CAN, [LQFP-48] [Электронный ресурс]: [сайт]. [2006]. URL: // <https://www.chipdip.ru/> (дата обращения: 16.02.2019).

УДК 681.5.073; ГРНТИ 55.30.03

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ КАЛИБРОВОЧНЫХ ТРАЕКТОРИЙ РОБОТА В MATLAB

П. Григорьев, А. Пронина

Санкт-Петербургский Научно-исследовательский Университет

Информационных Технологий, Механики и Оптики,

Россия, Санкт-Петербург, grigoryev.pete@gmail.com, anast.pronina@gmail.com

Аннотация. В работе рассматриваются основы динамической калибровки роботов-манипуляторов. Описываются существующие методы и возможность их реализации в среде MATLAB.

Ключевые слова. Робот, манипулятор, динамическая калибровка, калибровочные траектории, MATLAB.

ROBOT'S EXCITATION TRAJECTORIES' GENERATION IN MATLAB

P. Grigoryev, A. Pronina

Saint Petersburg National Research University of Information Technologies,

Mechanics and Optics,

Russia, Saint-Petersburg grigoryev.pete@gmail.com, anast.pronina@gmail.com

Abstract. This work presents the basics of robot dynamic calibration. Currently existing methods and their MATLAB practical realization opportunities are described.

Keywords. Robot, manipulator, dynamic calibration, excitation trajectories, MATLAB.

Введение

Современные производства нередко используют роботов-манипуляторов для выполнения тех или иных технологических операций. При этом нередко требуется высокая точность производимых перемещений. Как известно, для синтеза управления роботом необходимо в первую очередь идентифицировать его динамическую модель. Хотя структура уравнений движения манипулятора хорошо известна, истинные значения входящих в них динамических параметров не всегда доступны, в том числе, потому что они не всегда могут быть получены прямыми измерениями. Во многих случаях определение динамических параметров может быть осуществлено только средствами подходящей процедуры калибровки, которая оценивает их величины на основе входных и выходных показаний, обеспечиваемых датчиками и внутренними измерительными устройствами, или на основе программной симуляции. Именно достоверные оценки динамических параметров роботов являются залогом точного позиционирования и качественного выполнения технологического процесса.

Идентификация динамических параметров робота является примером классической регрессионной задачи и требует проведения эксперимента, по результатам которого и будут получены искомые оценки. Измерения производятся вдоль некоторой запланированной траектории, которая генерируется таким образом, чтобы при прочих равных начальных условиях количество информации, получаемой из эксперимента, было максимальным. Это обуславливается тем, что некоторые динамические свойства проявляются лишь в определенных конфигурациях [5].

Общие принципы динамической калибровки

Как известно, динамическая модель робота описывается следующим соотношением [2]:

$$\tau = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q),$$

где q , \dot{q} и \ddot{q} – обобщенные координаты, скорости и ускорения звеньев;

$M(q)$ – матрица инерции;

$C(q, \dot{q})$ – вектор центробежных и Кориолисовых сил;

$G(q)$ – вектор гравитации, а τ – вектор обобщенных сил и моментов в сочленениях.

Данная модель включает в себя динамические параметры звеньев с некоторыми коэффициентами, зависящими от конкретной конфигурации манипулятора. При этом динамические параметры в данную модель входят нелинейно. Для решения задачи о регрессии, необходимо линеаризовать модель, что выполняется переходом к барицентрическим системам координат звеньев [1]. В результате модель может быть приведена к виду:

$$\tau = \omega_B(q(t), \dot{q}(t), \ddot{q}(t))\chi,$$

где ω_B – базовый регрессор, а χ – вектор неизвестных динамических параметров, к числу которых относятся: масса звена, компоненты его тензора инерции, первые моменты, а также различные параметры трения или динамики редукторов.

При проведении эксперимента с некоторой дискретностью вычисляются базовые регрессоры, на основе прямых или косвенных измерений, а также фиксируются силы или моменты в сочленениях. В результате формируется матрица наблюдений

$$\Omega_s = \begin{bmatrix} \omega_B(q_1, \dot{q}_1, \ddot{q}_1) \\ \omega_B(q_2, \dot{q}_2, \ddot{q}_2) \\ \dots \\ \omega_B(q_s, \dot{q}_s, \ddot{q}_s) \end{bmatrix},$$

а также вектор зависимых переменных

$$\tau_s = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \dots \\ \tau_s \end{bmatrix}.$$

В результате задача динамической калибровки робота сводится к нахождению таких оценок динамических параметров $\hat{\chi}$, которые наилучшим образом удовлетворяют выражению

$$\tau_s \approx \Omega_s \hat{\chi}.$$

При этом для решения могут применяться различные методы, такие как метод наименьших квадратов (МНК), взвешенный МНК, метод максимального правдоподобия и другие [3].

Генерация калибровочных траекторий в MATLAB

Процесс получения калибровочных траекторий рассмотрен на примере SCARA-манипулятора, кинематическая схема которого изображена на рис. 1.

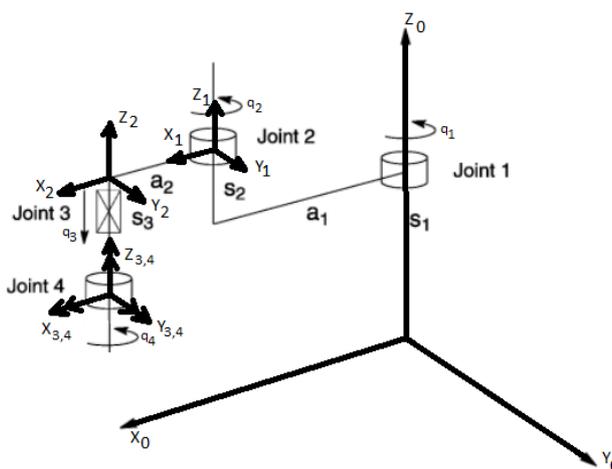


Рис. 1. Кинематическая схема SCARA-манипулятора

Конкретные числовые параметры были взяты из спецификации манипулятора Fanuc 3R-3iA. Для реализации вычислительных процедур в первую очередь были подготовлены символьные выражения для компонентов базового регрессора. Все символьные вычисления произведены с помощью пакета Maple. Для упрощения выражений вращение последнего звена было заблокировано, так как оно незначительно влияет на динамику SCARA-манипулятора.

В результате был получен базовый регрессор в виде

$$\omega_B = \begin{bmatrix} \omega_{1,1} & \omega_{1,2} & \omega_{1,3} & \omega_{1,4} \\ 0 & \omega_{2,2} & \omega_{2,3} & \omega_{2,4} \\ 0 & 0 & \omega_{3,3} & \omega_{3,4} \end{bmatrix},$$

который характерен для робота последовательной кинематики с учетом заблокированного четвертого звена.

Ранее отмечалось, что базовый регрессор зависит от конфигурации робота, то есть от значений обобщенных координат, скоростей и ускорений звеньев в заданный момент времени. Для примера рассмотрим некоторые из полученных выражений компонентов базового регрессора:

$$\begin{aligned} \omega_{1,1} &= [k_m \quad k_{mrx} \quad k_{mry} \quad k_{mrz} \quad k_{lxx} \quad k_{lxy} \quad k_{lxz} \quad k_{lyy} \quad k_{lyz} \quad k_{lzz}] = \\ &= \left[\frac{1}{2} \ddot{q}_1 a_1^2 \quad 2\ddot{q}_2 a_1 \quad 0 \quad \ddot{q}_1 \right], \\ \omega_{2,2} &= [a_1 a_2 \left(\ddot{q}_1 c_{q2} + \frac{1}{2} s_{q2} \dot{q}_1^2 \right) + a_2^2 (\ddot{q}_1 + \ddot{q}_2); \\ & \quad a_1 \left(\ddot{q}_1 c_{q2} + \frac{1}{2} \dot{q}_1^2 s_{q2} \right) + 2a_2 (\ddot{q}_1 + \ddot{q}_2); \\ & \quad a_1 \left(-\ddot{q}_1 s_{q2} + \frac{1}{2} \dot{q}_1^2 c_{q2} \right); 0; 0; 0; 0; 0; 0; \ddot{q}_1 + \ddot{q}_2], \end{aligned}$$

где a_i – некоторые известные постоянные коэффициенты, характеризующие конструкцию робота (длины звеньев и т.д.);

s_α и c_α – синус и косинус угла α соответственно;

k_i – коэффициент при i -м динамическом параметре;

m – масса звена;

mrx, mry, mrz – первые моменты звена;

$I_{xx}, I_{xy}, I_{xz}, I_{yy}, I_{yz}, I_{zz}$ – компоненты тензора инерции звена.

Из выражений видно, что коэффициенты при некоторых динамических параметрах равны нулю. Соответствующие им динамические параметры не влияют на динамику робота и не могут быть идентифицированы в процессе калибровки.

Следующим шагом является непосредственно подбор траектории. Популярным подходом к параметризации калибровочных траекторий является применение рядов Фурье [4], в результате выражения для координат, скоростей и ускорений будут иметь вид:

$$q_i(t) = \sum_{l=1}^{N_i} \frac{a_l^i}{\omega_f l} \sin(\omega_f l t) - \frac{b_l^i}{\omega_f l} \cos(\omega_f l t) + q_{i0},$$

$$\dot{q}_i(t) = \sum_{l=1}^{N_i} a_l^i \cos(\omega_f l t) + b_l^i \sin(\omega_f l t),$$

$$\ddot{q}_i(t) = \sum_{l=1}^{N_i} -a_l^i \omega_f l \sin(\omega_f l t) + b_l^i \omega_f l \cos(\omega_f l t),$$

где ω_f – базовая частота, a_l^i и b_l^i – коэффициенты рядов, а N_i – число гармоник.

Базовая частота и число гармоник определяются в каждом конкретном случае, исходя из некоторых начальных условий, а коэффициенты рядов подлежат оптимизации исходя из некоторого критерия. Классическим критерием является минимизация числа обусловленности матрицы наблюдений. Как отмечалось, матрица наблюдений содержит в себе рассчитанные вдоль траектории с некоторой дискретностью базовые регрессоры. Число обусловленности матрицы наблюдений показывает, насколько она близка к вырожденности. Так как матрица наблюдений используется для поиска оценок динамических параметров, то чем меньшим будет ее число обусловленности, тем большим будет объем информации, получаемый в ходе эксперимента.

Для реализации всей процедуры была разработана программа MATLAB, выполняющая расчет матрицы наблюдений и поиск ее числа обусловленности. Минимизация числа обусловленности путем подбора коэффициентов рядов Фурье выполняется с помощью пакета OptimizationToolbox. Данный пакет среди прочего позволяет учитывать ограничения, накладываемые на коэффициенты. В данном приложении важно, чтобы амплитуда получаемых траекторий не выходила за некоторые границы, определяемые возможностями робота.

Заключение

Результатом описанной работы стала программа вычисляющая коэффициенты рядов Фурье в соответствии с определенным критерием оптимальности. Полученные траектории могут использоваться в дальнейшем при проведении процедуры динамической калибровки робота, что позволит повысить точность его позиционирования, а значит и качество выполняемого технологического процесса.

Стоит отметить, что не все вопросы в рамках обозначенной задачи решены и все еще

остаётся простор для дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Коллюбин С.А., Динамика робототехнических систем. Учебное пособие.- СПб: Университет ИТМО, 2017. — 117 с.
2. Юревич Е.И. Основы робототехники. Учебное пособие. — 3-е изд. СПб: БХВ-Петербург, 2010. — 368 с..
3. Cristovao Jorge Silva, Dynamic model identification of robot manipulators: solving the physical feasibility problem. University of Coimbra – 2014
4. Mark W. Spong, Robot modelling and control.
5. Zvi S. Roth. Fundamentals of manipulator calibration. FloridaAtlanticUniversity – 1991.

УДК 62-523.8; ГРНТИ 50.47.29

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ПЛАТ И ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ARDUINO В ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ

С.А. Беспелюхина

*Рязанский государственный радиотехнический университет
Российская Федерация, Рязань, sveta-peregudova1@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются плата и программные продукты для работы с Arduino, а так же их возможное применение в профессиональном образовании.

Ключевые слова: программа, Arduino, микропроцессорная плата, программные продукты.

APPLICATION OF ARDUINO MICROPROCESSOR BOARDS AND SOFTWARE PRODUCTS IN PROFESSIONAL EDUCATION

S.A. Bepelyukhina

*Ryazan State Radio Engineering University
Russia, Ryazan, sveta-peregudova1@yandex.ru*

The summary: The paper discusses the board and software products for working with Arduino, as well as their possible application in vocational education.

Keywords: program, Arduino, microprocessor board, software products.

Введение

В связи с ростом потребности выпуска более качественной продукции, большинство предприятий вводят в эксплуатацию современные средства автоматизации. Большинство технологических операций на производстве осуществляются специализированными машинами, не имеющими гибкость. В настоящее время, в современной промышленности на смену устаревшим станкам приходят роботизированные системы и комплексы с автоматическими и автоматизированными системами. В связи с увеличением количества единиц такого оборудования появляется потребность в специалистах, способных работать и производить ремонт промышленных роботов.

Во время получения образования, будущим специалистам требуется большой объем практики в работе с роботизированными системами. В связи с этим, для обучения применяют множество программ, предназначенных не только для написания программного кода, но и проверки его в программах-эмуляторах.

В основу данной работы легли микропроцессорная плата и программные продукты Arduino. Она не используется в промышленности, но может поспособствовать развитию навыков программирования и схемотехники у будущих специалистов. В работе было предложено применение программ, позволяющих писать программы для Arduino, а так же проверять их работу с помощью специально разработанных программ и оборудования.

Микропроцессорная плата Arduino

Arduino – одна из популярнейших микропроцессорных плат, основными преимуществами которой являются:

- стоимость (в сравнении с аналогичными платами);
- надежность (простое и отказоустойчивое устройство);
- энергопотребление (позволяет использовать бюджетные источники питания);
- программное сопровождение (все программы для работы с Arduino находятся в открытом доступе).

На сегодняшний день, специалисты, работающие в области робототехники, разрабатывают как простые, так и довольно сложные устройства. В связи с этим существует потребность в платах Arduino с различными функциональными возможностями. Основные версии плат Arduino представлены следующими моделями:

Uno — самая популярная версия базовой платформы Arduino, созданная на базе микроконтроллер ATmega8U2 (рисунок 1);

Due — плата на базе 32-битного ARM микропроцессора Cortex-M3 ARM SAM3U4E;

Leonardo — плата на микроконтроллере ATmega32U4;

Nano — компактная платформа, используемая как макет. Nano подключается к компьютеру при помощи кабеля USB Mini-B;

Mega — версия серии Mega на базе микроконтроллера ATmega1280.[1]



Рис. 1. Микропроцессорная плата Arduino UNO

У контроллеров Arduino к большинству контактов ввода-вывода можно подключить внешние схемы. Все контакты могут служить цифровыми входами и выходами. Часть контактов Arduino могут также действовать в качестве аналоговых входов. Многие из контактов работают в режиме мультиплексирования и выполняют дополнительные функции: различные коммуникационные интерфейсы, последовательные интерфейсы, широтно-импульсные модуляторы и внешние прерывания.[2]

Программные продукты для работы с платой Arduino

Микроконтроллер Arduino программируется на специальном языке программирования Wiring, основанном на C/C++, другими словами, язык Wiring – это разновидность языка C++. Он включает в себя 4 раздела:

- операторы;
- данные;
- функции;
- библиотеки.

В результате получается программа называемая скетч.

Разработка собственных скетчей, совместимых с архитектурой Arduino, осуществляется в официальной бесплатной среде программирования Arduino IDE. (рисунок 2).

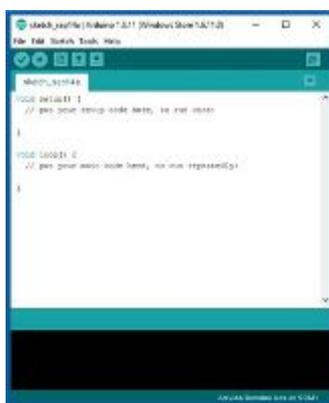


Рис. 2. Программа Arduino IDE

Она позволяет написать скетч. Во время сохранения и экспорта проекта в области сообщений появляются пояснения и информация об ошибках. Окно вывода текста показывает сообщения Arduino, включающие полные отчеты об ошибках и другую информацию. Кнопки панели инструментов позволяют проверить и записать программу, создать, открыть и сохранить скетч, открыть мониторинг последовательной шины. Но такая программа не имеет возможности провести проверку работоспособности скетча на виртуальной схеме. Для этого существует программа, позволяющая собрать схему и проверить выполнение программного кода.[1]

Tinkercad Circuits (рис. 3) – это online-конструктор электронных схем, который принадлежит компании Autodesk. Конструктор включает в себя платы, различные электронные компоненты.

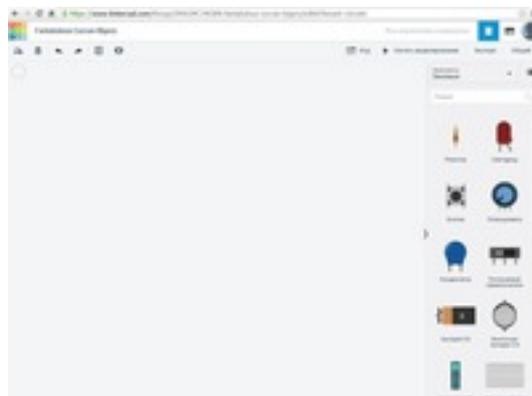


Рис. 3. Интерфейс Tinkercad Circuits

Он имеет множество преимуществ перед другими программами, например:

- удобный графический редактор для визуального построения электронных схем, что позволяет создавать эмулятор виртуальной схемы;
- встроенный редактор Arduino;
- встроенные учебные пособия;
- можно добавить или написать библиотеку для работы с модулями.

Пример

На основании рассмотренных программ, был разработан скетч для управления сервоприводом с помощью потенциометра на основе микропроцессорной платы Arduino.

На первом этапе написания скетча, подключается стандартная библиотека для работы с сервоприводами <Servo.h> и объявляется переменная:

```
#include <Servo.h>
Servo servo1;
```

Затем, функция setup() запускает ряд инструкций, которые проверяют работоспособность системы и устанавливают подключения между платой и подключенными к ней компонентами. Но так как описанные установки должны производиться один раз, то перед функцией setup указывают слово void. В разрабатываемом скетче блок void setup() хранит инструкцию подключения и инициализации сервопривода на 8 цифровой выход платы:

```
void setup()
{
  servo1.attach(8);
}
```

После того, как все установки произведены, запускается блок void loop(). Он хранит и выполняет все команды, которые будут выполняться программой. В переводе с английского слово loop – это цикл, то есть блок void loop() является циклическим и все команды будут выполняться бесконечное число раз. В данном случае, описывается подключение потенциометра, а так же считывание с него значений при повороте и передача их на серво:

```
void loop()
{
  int potent = analogRead(0);
  potent = map (potent, 0, 1023, 0, 180);
  servo1.write(potent);
}
```

Таким образом, составленный скетч позволит управлять сервоприводом с помощью потенциометра, получая и передавая информацию через микропроцессорную плату Arduino.

Заключение

В результате рассмотренной темы, можно сделать вывод, что Arduino включает в себя широкий спектр функций для обучения молодых специалистов и позволяет развивать знания

не только в программировании, но и в схемотехнике, что дает ей право применяться в образовании.

Библиографический список

1. Петин В. А., Проекты с использованием контроллера Arduino. — СПб.: БХВ-Петербург, 2014. — 400 с.: ил. — (Электроника).
2. Блум Джереми, Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства: Пер. с англ. — СПб.: БХВ-Петербург, 2015. — 336 с.: ил.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ОБЗОР ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УЧЕТА РЕСУРСОВ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА АВТОДОРОГ

А.В. Учасова

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, alina.uchasova@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются информационные системы учета ресурсов капитального ремонта автодорог. Приводится обоснование необходимости разработки информационной системы, описания аналогичных продуктов уже существующих на рынке, их основные особенности, плюсы и минусы.

Ключевые слова: информационные системы, система учета ресурсов, автоматизация.

WIRELESS COMMUNICATION CHANNELS MODELS

A.V. Uchasova

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, alina.uchasova@mail.ru*

The summary. The paper discusses with information systems for accounting resources of major road repairs. The substantiation of necessity of development of information system, the description of similar products already existing in the market, their main features, pluses and minuses is given.

Keywords: information system, resource accounting system, automation.

Руководители строительных организаций, занимающихся капитальным ремонтом дорог, привыкли к тому, что асфальтировка и все что с ней связано - труд ручной, и автоматизации не подлежит. Учет материалов ведется посредством смет, которые не всегда отражают реальное положение дел, либо не имеют достаточно подробной информации, такой как: периодичность проведения работ, оперативные даты, стадии проведения работ, информации для чего будет использован каждый материал. Из-за этого страдает, и бухгалтерия, и складские службы, и сам процесс проведения работ.

Например: если будет сдвинута какая-либо дата, то и материалы следовало бы привезти раньше или позднее. Не учтено, что часть материалов может понадобиться не сразу, а постепенно и материал просто занимает место на объекте. Либо возможен простой рабочей силы из-за несвоевременной доставки. Заказчику так же интересно, куда тратятся средства, если бы данная информация собиралась, то можно было бы предоставить более подробный отчет, и удовлетворить самого придирчивого покупателя.

Из всего вышесказанного можем сделать вывод, что снижения затрат на незапланированные мероприятия и нецелевые траты средств из бюджета необходимо разработать информационную систему. Ведь применение таких технологий позволит не только автоматизировать работу предприятия, но и ускорит исполнение каждодневных рутинных задач и позволит эффективнее использовать имеющиеся ресурсы.

Для оптимальной работы система должна хранить в базе данных параметры, такие

как:

- код заказчика,
- номер сметы,
- номер накладной,
- наименование материала,
- наименование поставщика,
- дата и время поставки,
- объект капитального ремонта,
- количество материала,
- цену материала,
- номер спец техники,
- номер склада,
- информация о водителе.

По данным исследовательского центра TAdviser с 2005 года по сентябрь 2016 года российские компании внедрили 8427 систем управления производством [1]. Руководители отдавали свое предпочтение в основном системе «1С» – 31%, но есть и другие популярные системы производственного управления: 7,8 % — «Галактика», 6,2 % – SAP и другие.

Рассмотрим представленные системы управления производством подробнее. Так же рассмотрим программу «Строительство», т.к. она ориентирована именно на нашу предметную область [2].

«1С Бухгалтерия» включает в себя бухгалтерский учет материалов [3] - это комплексная система, но подходит она далеко не всем.

Если она подходит предприятию за исключением небольшого количества корректировок, то стоит выбрать ее. Но если базовая конфигурация системы далека от реальной ситуации на предприятии, то специалисты не советуют внедрять эту систему, т.к. всем известно, что 1С трудно изменить изнутри, и в случае когда нужны доработки – все они чаще всего «надстраиваются» сверху, а базовые настройки остаются неизменными. И если предприятию не совсем подходит коробочный вариант этой программы, то стоит либо поискать другие варианты, или заказать индивидуальное решение.

Так же к минусам можно отнести высокие цены и низкую скорость обработки данных.

На многих предприятиях в России установлены системы 1С и в случае выбора «1С Бухгалтерии», между ними будет легче настроить взаимодействие.

Для предприятий, занимающихся капитальным ремонтом автодорог, эта система не подходит. Хотя и считается, что «1С Бухгалтерия» — это универсальное решение, но нужно понимать, что оно рассчитано на предприятия, которые занимаются продажей, а не строительством.

«Галактика» - это корпоративная управленческая система, которая не только выполняет свои основные функции, но и объединяет комплексные системы автоматизации управления предприятием собственной разработки с программным обеспечением других компаний.

Так же компания занимает одну из лидирующих позиций на российском рынке по количеству функций. В системе есть много настраиваемых параметров, позволяющих настроить систему под нужды конкретного предприятия [4]. Имеет исчерпывающий набор стандартной и специальной бухгалтерской отчетности. Но если узнать мнение пользователей, выясняется, что система не является управляющей. Она не реализует алгоритмов формирования оптимальных запросов на производство и/или снабжение в зависимости от состояния спроса, планов, прогнозов или их комбинации. Система не выполняет функцию контроля процедур выполнения конкретных операций. Система не подходит для крупных

компаний, потому что не имеет моделей, таких как: Централизованное снабжение, распределение функций между организациями и т.д.

SAP AM (основные средства) – корпоративная система, для очень крупных предприятий.

Плюсы: компания давно работает на рынке (более 40 лет), у них огромный опыт; при правильной установке система будет работать успешно[5].

Минусы: высокая цена, недостаток специалистов работающих с этой системой, много лишних функций, которые чаще всего не используются, очень сложная терминология (поиск только по коду, поиск документа только по номеру документа и другая «самобытность» в плане терминологии), некоторые из многочисленных дополнений не использовались в России (потребуется дополнительные затраты на перевод и адаптацию).

Конфигурация «Строительство» - предназначена для автоматизации работы строительной компании. Основные функции: Учет заказчиков, этапов работ, складской учет, учет сотрудников, документация, учет строительных объектов, учет работ по этапам. Предлагает возможность изменения базы данных под нужды предприятия. Программа для небольшого предприятия.

Рассмотренные выше альтернативные решения не удовлетворяют всем потребностям рассматриваемых нами предприятий. Использование тех же программ, которые используются для складских помещений и служб логистики торговых предприятий неэффективно для организаций, занимающихся капитальным ремонтом автодорог. На первых порах может показаться, что учет материалов везде одинаков. Но это не так. В программах направленных на торговлю не учитывается множество моментов.

Кроме того, существует заблуждение, что автоматизировать бизнес-процессы капитального ремонта дорог нет необходимости. Многие руководители строительных организаций считают, что нужно лишь использовать отдельные программы, автоматизирующие часть предприятия, такие как бухгалтерский учет, управление оборудованием и т.п. Но для организаций, занимающихся ремонтом, такой подход не подходит, т.к. все бизнес-процессы взаимосвязаны и имеют единую структуру.

Библиографический список

1. Юдина С. В., Кузнецова М. А. Российская практика внедрения информационных систем управления производством // Молодой ученый. — 2017. — №12. — С. 391-393.
2. Конфигурация «Строительство» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.prostoysoft.ru/Building.htm#1>, свободный – Дата доступа: 12.02.2019.
3. Фирма «1С» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://1c.ru>, свободный – Дата доступа: 14.02.2019.
4. Корпорация «Галактика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.galaktika.ru>, свободный – Дата доступа: 15.02.2019.
5. Компания SAP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sap.com/cis/index.html>, свободный – Дата доступа: 10.02.2019.

УДК 621.865.8; ГРНТИ 55.30.31

ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ О СОСТОЯНИИ РОБОТОВ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ

Н.В. Захаркин, В.П. Федоров

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, nix221835@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматривается известный способ передачи информации роботу с помощью технологии двумерных кодов. Приводятся недостатки известного метода, а также предлагается способ передачи информации роботу с помощью оптического маркера.

Ключевые слова: двумерный код, передача данных, оптический маркер.

DATA TRANSMISSION ON THE ROBOTS STATE WITH THE HELP OF OPTICAL MARKERS

N.V. Zakharkin, V.P. Fedorov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, nix221835@yandex.ru*

The summary. The article discusses a known method of transmitting information to a robot using the technology of 2D-codes. The disadvantages of the known method are given, and a method of transmitting information to the robot using an optical marker is proposed.

Keywords: 2D-code, data transmission, optical marker

Введение и постановка задачи

Задача управления коллективами роботов приобретает в последнее время все большее значение. Для кодирования и передачи оперативной информации роботу предлагается использование технологии двумерных кодов [1]. Элементами такой технологии являются оптические маркеры, отображающие сообщения в виде двумерных кодов, и принимающие эти коды видеокамеры систем технического зрения (СТЗ). При разработке строящихся по данному принципу систем необходимо, как отмечается в [1], разрешать противоречие между стремлением повысить информационную ёмкость двумерного кода и необходимостью иметь крупные размеры его отдельных элементов для надежного распознавания передаваемого сообщения.

Данное противоречие в работе [1] предлагается разрешать путем представления сообщения в нескольких последовательно отображаемых и передаваемых кадр за кадром двумерных кодах, составляющих вместе исходный объемный двумерный код. Передача сообщений, закодированных в последовательности кадров предлагаемого динамического двумерного кода, как видно из приведенных в [1] результатов, позволяет существенно (2,5 раза) увеличить дальность передачи сообщений при заданной вероятности их правильного декодирования по сравнению с передачей статистическим двумерным кодом.

Однако, достигнутые характеристики по дальности (менее 1 м) при должной достоверности передачи в ряде применений не удовлетворяют заданным требованиям. В настоящей статье ставится задача проанализировать возможности увеличения дальности оптической беспроводной информационной связи с использованием оптических маркеров.

Анализ улучшения распознаваемости оптических маркеров

Переход от статистического двумерного кода к динамическому двумерному коду с большим размером элементов, безусловно, позволяет производить считывание с большего расстояния. Более радикальным решением задачи повышения дальности и надежности обсуждаемых систем беспроводной связи было бы устранение принципиальных недостатков самого двумерного кода, в виде которого отображается передаваемое сообщение.

Так основным недостатком применяемого кода связанным с его сущностью будет

применение решетчатой структуры из черно-белых штрихов. Отсюда появляется необходимость различать несколько (не менее четырех) градаций толщины однородных по цвету штрихов, что усложняет процесс считывания и снижает его надежность.

Еще одним недостатком традиционных двумерных кодов является их координатная ориентированность, заключающаяся в том, что байты составляются из выстроенных в линии штрихов. Это предопределяет не инвариантность положения маркера по отношению к считывателю и требует дополнительных преобразований при считывании кода, отрицательно влияя на скорость сканирования.

Существуют алгоритмы распознавания двумерных штрихкодов, повернутых относительно камеры [2], но их сложность входит в противоречие с требованием быстроты, необходимой для использования на мобильных системах.

Поиск способа, позволяющего устранить указанные недостатки двумерных кодов при кодировании сообщения в оптическом маркере, составляет задачу настоящей статьи.

Описание принципа построения и кодирования оптического маркера

Улучшения различимости и надежности сканирования можно добиться, прежде всего, заменив структуры с чередующимися темными и светлыми штрихами и разной шириной однородных штрихов на структуры с четкой привязкой геометрического места штрихов к определенным ориентирам.

Применительно к оптическому маркеру системой таких ориентиров могут быть расположенные равномерно по окружности светящиеся элементы, со светящимися опорными элементами (рис.1). Из рисунка видно, что опорные светящиеся элементы расположены по вершинам наружного шестиугольника, синхронизирующие – в центре и по вершинам внутреннего шестиугольника, также существует один дополнительный элемент (сверху справа), который является ключевым и задает направление начала обхода при считывании.

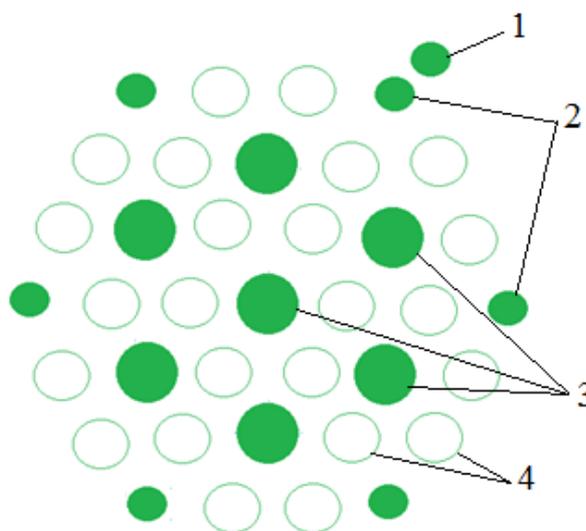


Рис. 1. Предлагаемый вид оптического маркера:

- 1 – ключевой оптический элемент, который задает начало обхода при считывании;
- 2 – опорные светящиеся элементы;
- 3 – синхронизирующие светящиеся элементы;
- 4 – световые элементы, кодирующие цифровую информацию.

Относительно указанных световых опорных элементов располагаются световые элементы кодирующие цифровую информацию.

Этапы передачи информационных данных с помощью данного оптического маркера:

1) Появление системы опорных точек (рис. 1) и наведение устройства с камерой на оптический маркер. Задание уровня пороговой яркости и захват изображения со всеми граничными точками.

2) Возникновение на экране маркера изображения, сигнализирующего о готовности вывода информации. Такое изображение создается при шести светящихся синхронизирующих элементах (кроме погасшего центрального) и погасших опорных элементах, которые после этого высвечиваются вновь уже вместе с появлением первого информационного кадра.

3) Вывод на экран маркера первого кадра информации вместе с возобновлением свечения опорных (координирующих) элементов. Это должно быть воспринято как сигнал считывания системы светящихся элементов маркера и запоминание координат середин проекций светящихся областей на матрицу датчиков (номеров соответствующих ПЗС-ячеек). На данном этапе в ячейках памяти процессора видеокamеры фиксируются по определенным адресам биты, соответствующие освещенности (не освещенности) ячеек матрицы ПЗС. То есть в матрице памяти устройства обработки как бы отпечатывается изображение, воспринимаемое от оптического маркера «рецепторным» полем фотоприемников.

4) Идентификация и определение координат опорных элементов. Этот этап должен предшествовать декодированию сообщения и быть первой частью обработки считанного и запечатленного в памяти устройства кадра. Для осуществления такой идентификации в процессе сканирования матрицы фотодатчиков необходимо отличить опорные элементы от информационных и выделить их в отдельный кластер. Выделение опорных элементов основано на их меньшем по сравнению с остальными элементами размере (для надежного различения диаметр опорных элементов должен быть примерно в три раза меньше).

Найденные координаты всех опорных элементов, расположенных в вершинах шестиугольника (рис.1), должны быть ранжированы. Тогда любой $1+k$ -й опорный элемент несложно идентифицировать с учетом того, что он является по отношению к первому (ключевому) опорному элементу k -м в направлении обхода вершин шестиугольника по часовой стрелке.

5) Декодирование информационного кадра – ещё один относительно объемный в вычислительном плане этап, на котором осуществляется обработка считанной на предыдущем этапе информации. На основе этой информации о координатах середин проекций светящихся областей должно быть получено сообщение в виде группы передаваемых посредством маркера байт.

После идентификации направления считывания первого байта установление его содержания происходит по следующим принципам.

Световые элементы двух старших бит первого байта находятся на линии, соединяющей центральный и ключевой опорный элементы (рис. 2).

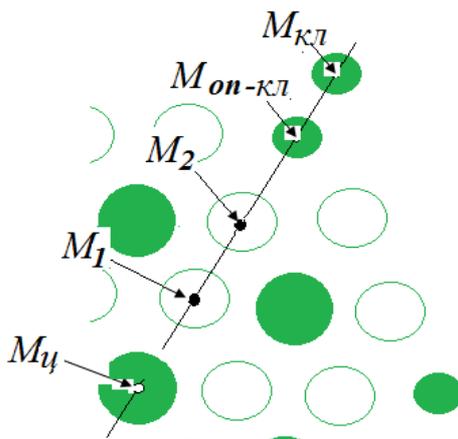


Рис. 2. Определение координат отображения информационных элементов маркера: декодирование двух старших разрядов.

Соотношение отрезков линии $M_u M_{кл}$ таковы: $M_u M_1 / M_1 M_{кл} = 1/2$; $M_u M_2 / M_2 M_{кл} = 2$.

Координаты потенциального нахождения центров M_1 и M_2 проекций информационных элементов вычисляются по формулам:

$$x_1 = \frac{2x_u + x_{кл}}{3}; \quad y_1 = \frac{2y_u + y_{кл}}{3}; \quad x_2 = \frac{x_u + 2x_{кл}}{3}; \quad y_2 = \frac{y_u + 2y_{кл}}{3}. \quad (1)$$

Эти формулы могут быть записаны в аналогичном виде при замене значений координат x_i и y_i соответственно номером N_{xi} фотоприемника в строке и номером N_{yi} строки в матрице.

Тогда, если в зонах изображения элементов кодирующей структуры с номерами фотоячеек $N_{xi} \pm \Delta n$ и $N_{yi} \pm \Delta n$ сигнала освещенности не обнаруживается, значения этих старших битов принимается «0». Если же в указанных зонах изображения или в какой-то из них обнаруживается – по считываемому коду – сигнал освещенности выше некоторого порогового значения, то значения соответствующих битов принимается «1».

Световые элементы двух младших бит первого байта находятся на линии, соединяющей ключевой опорный элементы с соседним – в направлении обхода по часовой стрелке – периферийным опорным элементом (рис. 3).

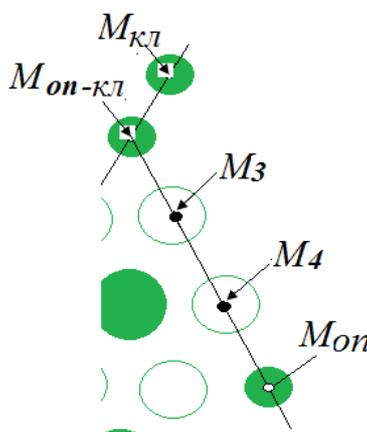


Рис. 3. Определение координат отображения информационных элементов маркера: декодирование двух младших разрядов

Координаты потенциального нахождения центров M_3 и M_4 проекций информационных элементов вычисляются по формулам, аналогичным (1). Также полностью аналогичны процедуры определения значений третьего и четвертого битов.

По завершению декодирования первого байта по описанным выше принципам происходит декодирование остальных пяти байт. Декодирование двух старших бит очередного $1+k$ ($k=1, \dots, 5$) байта осуществляется исходя из того, что их световые элементы находятся на линии, идущей от соответствующего $1+k$ -го опорного элемента к центральному элементу.

Декодирование же двух младших бит очередного байта, которые находятся на линии, соединяющей $1+k$ -й опорный элемент с соседним – в направлении обхода по часовой стрелке – опорным элементом, осуществляется согласно описанной для первого байта процедуре.

б) Высвечивание завершающего сообщения кадра. Чрезвычайно важным моментом при передаче сообщений является сохранение их целостности. Поэтому необходимо, во-первых, соблюдение строгой очередности высвечиваемых кадров сообщения и, во-вторых, надежное отделение группы кадров передаваемого сообщения от предыдущего и следующего сообщений. Именно такую роль играет завершающий кадр. Для его формирования более всего подходят синхронизирующие элементы (рис. 1). Высвечивание всех их – вместе с центральным элементом – должно означать окончание передачи данного сообщения.

Заключение

Предлагаемая система с оптическим маркером содержит отдельные светящиеся элементы, которые находятся на некотором небольшом расстоянии друг от друга для лучшей различаемости, вместо решетчатой структуры из темно-светлых штрихов. Это определяет преимущество данного маркера по различаемости высвечиваемой информационной картинке при заданном проценте безошибочности декодирования. Что позволяет увеличить расстояние от оптического маркера до камеры (то есть дальность передачи).

Библиографический список

1. Алексеев А.Ю. Оптический канал беспроводной передачи данных коллектива мобильных роботов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №1.
2. Кручинин А.Ю. Алгоритм распознавания двумерных графических кодов с произвольным углом поворота и наклона камеры; материалы седьмой всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) «Современные информационные технологии в науке, образовании и практике» - Оренбург: ИПК.ГОУ ОГУ, 2008. – с. 193-196.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ЗА СЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТАНКОВ С ЧПУ

Н.Ю. Дронов, Н.В. Грибов, А.К. Мусолин, О.В. Миловзоров

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, dron62_rus@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается принцип оптимизации процесса обработки деталей на фрезерном обрабатывающем центре. Приводятся его основные особенности, а также логическая схема и результаты измерения, которые послужили причиной разработки оптимизированной технологии изготовления.

Ключевые слова: Числовое Программное Управление (ЧПУ).

IMPROVING THE ACCURACY OF MACHINING DUE TO THE TECHNOLOGICAL CAPABILITIES OF CNC MACHINE TOOLS

N.Yu. Dronov, N.V. Gribov, A.K. Musolin, O.V. Milovzorov

Ryazan state radio engineering University,
Russian Federation, Ryazan, dron62_rus@mail.ru

Annotation. The paper discusses the principle of optimization of process of machining on machining centers. Its main features, as well as the logical scheme and measurement results, which were the reason for the development of optimized manufacturing technology are given.

Keywords. Computer Numerical Control (CNC).

На современных промышленных предприятиях большое внимание уделяется повышению точности обработки. Для этого, при изготовлении каждой детали необходимо производить промежуточные измерения на станке.

На рисунке 1 показан пример детали, которая требует высокой точности (допуск на изготовление 0,03мм) выполнения, так как пазы в ней играют роль соединительного элемента. Большое внимание необходимо уделять не только линейным размерам паза, но и их расположению, т.е. если пазы будут размешены по окружности неравномерно, или же паз будет с непараллельными стенками, то соединения двух сопрягаемых деталей при сборке обеспечено не будет.

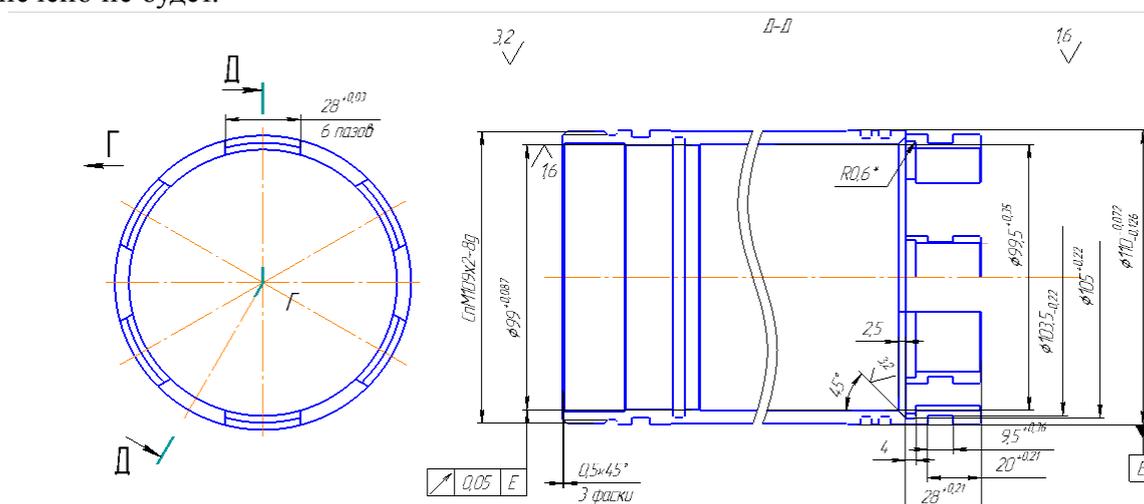


Рис. 1. Деталь поршень

Рассмотрим существующую технологию изготовления детали поршень:

Базирование производится в не самоцентрирующих тисках с призматическими губками. При установке каждой детали требуется найти начало отсчета управляющей программы (рабочую координату), которой является ось заготовки. Затем, с помощью внутреннего станочного цикла обработки, производится фрезерование пазов. После этого оператор вручную замеряет каждый паз по высоте и ширине, причем с внешней и внутренней сторон,

для определения наличия непараллельных стенок. При ручном замере определить точно глубину, и уж тем более расположение пазов, практически трудновыполнимо. Поэтому, чаще всего, этими показателями пренебрегают, что приводит к повышению процента брака.

В таблице 1 приведены значения размеров пазов, после обработки на фрезерном обрабатывающем центре, а также отклонения детали при установке.

Таблица 1. Размеры паза и положение центра

№ Дет.	Пазы ($28^{-0,03}$ мм)						Отклонения при обнулении		
	1	2	3	4	5	6	По X	По Y	По Z
1	28,02	28,02	28,015	28,01	28	27,99	-0,24	+0,47	-0,1
2	28,01	28,015	28,025	28,01	28,01	28	+0,4	+0,1	+0,05
3	28,03	28,03	28,025	28,015	28,01	27,98	+0,35	-0,156	+0,275
4	28,01	28,01	28,015	28,005	27,99	27,985	+0,02	-0,04	-0,395
5	28,005	28,01	28,02	28,01	28	27,98	-0,394	+0,437	-0,25

Из таблицы 1 видно, что с каждым следующим пазом его размер уменьшается, и на последнем пазе размер выходит за пределы допуска. При попытке доработать по стандартному циклу один паз это приводит к увеличению размера остальных.

В таблице 2 приведены значения размеров пазов по внешней стороне и внутренней.

Таблица 2. Размеры пазов

№ Дет.	Внешняя сторона паза						Внутренняя сторона паза					
	Номера пазов						Номера пазов					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	28,022	28,022	28,016	28,002	28,002	27,993	28,018	28,018	28,012	27,998	27,998	27,989
2	28,012	28,017	28,027	28,012	28,012	28,002	28,008	28,013	28,023	28,008	28,008	27,998
3	28,032	28,032	28,027	28,017	28,012	27,982	28,028	28,028	28,023	28,013	28,008	27,978
4	28,012	28,012	28,017	28,007	27,902	27,987	28,007	28,007	28,012	28,002	27,897	27,982
5	28,008	28,013	28,023	28,013	28,003	27,983	28,003	28,008	28,018	28,008	27,998	27,978

Исходя из значений, приведенных в таблице 2 можно сделать вывод, что стенки имеют непараллельность в диапазоне 0,005 мм, что много для заданной точности детали. На данный разброс влияют несколько факторов:

1. Неточность позиционирования приводов станка.
2. Износ инструмента при обработке.
3. Погрешности ЧПУ при повороте системы координат.

Неточное позиционирование заключается в том, что при нарезании диагональных пазов работают 2 привода (оси X и оси Y). Обуславливаться это может тем, что винты шариковых винтовых пар имеют погрешность.

Проанализировав эти факторы, было принято решение создать интегрированную технологию изготовления деталей за счет совмещения процессов резания и контроля на станке с использованием параметрического программирования, тем самым повышая точность, производительность и автоматизацию.

Данная технология включает в себя не стандартные циклы обработки элементов детали, заложенные производителем станка, а создание цикла обнуления и оптимизации процесса измерения и доработки.

Измерение детали в автоматическом режиме производят с помощью специального измерительного шупа. Шуп представляет собой контактный датчик с иглой, на конце которой имеется рубиновый сферический наконечник. При контакте наконечника с деталью игла

отклоняется, что фиксируется системой ЧПУ, и координаты положения измерительного щупа датчика вносятся в систему ЧПУ.

Принцип оптимизации процесса измерения и доработки состоит в следующем:

Перед обработкой производится обнуление системы координат детали (рисунок 2). Щуп касается 4 точек внутреннего диаметра и рассчитывает центр.

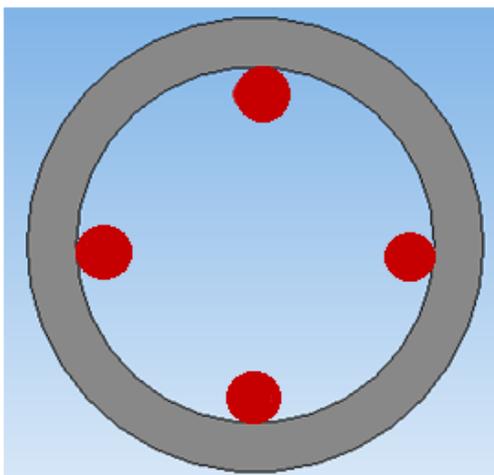


Рис. 2. Настройка рабочей координаты центра

После обработки всех элементов детали (паз, выступ, отверстие), автоматически вызывается измерительный щуп. Производится измерение каждого паза (рисунок 4) по высоте и ширине, и сравнивается с параметром, в который был занесен требуемый размер.

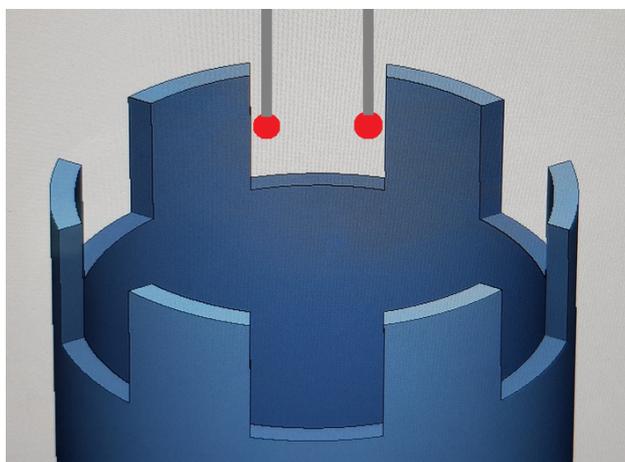


Рис. 3. Схема контроля пазов

Щуп касается стенок паза и рассчитывает размер. Если же размер находится в поле допуска, то система переходит к измерению параллельности стенок. Если же значение меньше нижнего предела, то система вносит необходимую коррекцию на радиус и длину инструмента и автоматически дорабатывает паз. Если размер вышел за верхнюю границу поля допуска, то формируется сообщение об ошибке.

Данный процесс продолжается до тех пор, пока не будут измерены все элементы. Погрешность угла поворота входит в общую суммарную погрешность и будет устранена при необходимости последующей доработки паза.

Процесс измерения параллельности стенок (рисунок4):

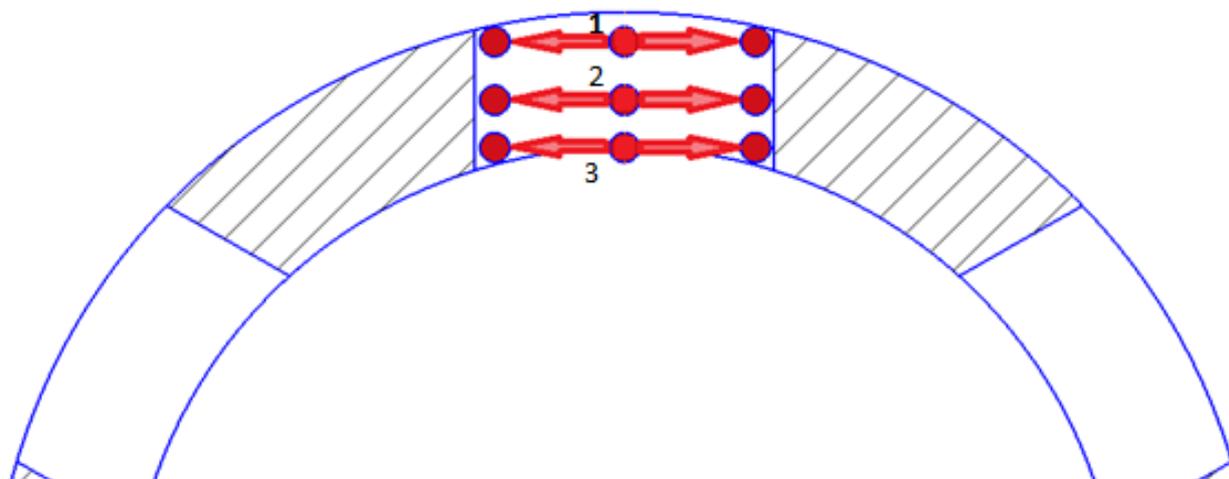


Рис. 4. Контроль паза

Сначала щуп касается стенок паза по первой траектории, затем смещается и этот процесс повторяется по второй траектории, затем по третьей. Полученные значения обрабатываются, вносится необходимая коррекция, и станок автоматически дорабатывает паз до параллельных стенок.

Технология рассчитана на упрощение работы оператора. При запуске программы, станок запрашивает все необходимые для обработки данные. Так же оператор может выбрать вид элемента для обработки (паз, выступ, отверстие), для этого введен специальный параметр, который в зависимости от введенного значения переходит на ту или иную программу.

Общий принцип оптимизации обработки представлен на рисунке 6

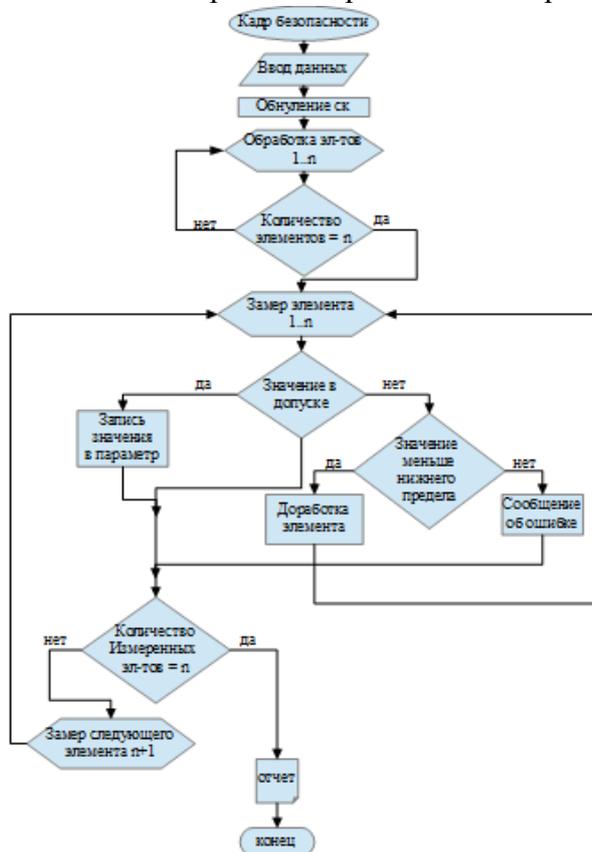


Рис. 5. Алгоритм работы интегрированной технологии

В качестве данных для ввода выступают такие параметры как: внутренний и внешний диаметры заготовки, размеры элементов, диаметр инструмента, количество элементов, начальный угол поворота и др.

После внедрения интегрированной технологии изготовления деталей, получают следующие размеры (таблица 3).

Таблица 3. Размеры паза после внедрения интегрированной технологии

№ детали	Пазы ($28^{+0.03}$ мм)					
	1	2	3	4	5	6
1	28.02	28.02	28.021	28.019	28.02	28.02
2	28.023	28.021	28.02	28.02	28.02	28.019
3	28.021	28.021	28.021	28.02	28.022	28.02
4	28.021	28.02	28.02	28.022	28.024	28.02
5	28.02	28.019	28.023	28.021	28.02	28.02

Из таблицы видно, что диапазон размеров не выходит за пределы 0,005 мм, что соответствует высокой точности обработки. Разброс значений центра системы координат соответствует погрешности системы ЧПУ.

В таблице 4 представлены значения размеров, при измерении внешних и внутренних краев паза.

Таблица 4. Размеры пазов после внедрения интегрированной технологии

№ дет.	Внешняя сторона паза						Внутренняя сторона паза					
	Номера пазов						Номера пазов					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	28,022	28,022	28,021	28,021	28,021	28,022	28,022	28,021	28,022	28,021	28,022	28,021
2	28,022	28,021	28,021	28,012	28,012	28,021	28,022	28,021	28,022	28,021	28,022	28,021
3	28,022	28,02	28,02	28,022	28,02	28,02	28,028	28,022	28,023	28,022	28,021	28,02
4	28,021	28,021	28,022	28,021	28,021	28,022	28,022	28,021	28,012	28,021	28,022	28,021
5	28,019	28,022	28,023	28,019	28,022	28,022	28,022	28,019	28,018	28,019	28,022	28,021

Сообщение об ошибке ставит программу на паузу и дает возможность оператору выбрать дальнейшие действия.

Все результаты измерений вводятся в отчет, который формируется в виде таблицы и отправляется на компьютер, подключенный к системе ЧПУ.

В данной технологии имеется возможность маркировки каждого элемента, данную функцию оператор выбирает при вводе данных.

За счет такого способа изготовления детали время на обработку уменьшается вдвое, так как внедрена локальная доработка необходимых элементов.

Достоинства данной технологии:

- 1) Уменьшение себестоимости изделия
- 2) Повышение стабильности размеров
- 3) Уменьшение уровня влияния человеческого фактора
- 4) Обход участка ОТК, так на каждую деталь имеется свой отчет с размерами

Биографический список

1. Справочник по программированию Sinumerik 840dsl–Режим доступа:
<https://support.industry.siemens.com>

УДК 62-523.8; ГРНТИ 50.47.29

К ВОПРОСУ О ПРОГРАММИРОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА OMRON

В.В. Половинкин, М.М. Еремин

*Рязанский государственный радиотехнический университет
Российская Федерация, Рязань, valentin.polovinkin@mail.ru*

Аннотация. В данной работе рассматриваются особенности программирования ПЛК Omron CP1L, его среда программирования, достоинства и недостатки этого ПЛК.

Ключевые слова: Omron, программирование, ПЛК, среда разработки, релейно-контактные схемы, автоматизация.

TO THE PROBLEM OF PROGRAMMING THE OMRON INDUSTRIAL CONTROLLER

V.V. Polovinkin, M.M. Eremin

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, valentin.polovinkin@mail.ru*

The summary. The paper discusses the features of Omron CP1L PLC programming, its programming environment, advantages and disadvantages of this PLC.

Keywords: Omron, programming, PLC, development environment, ladder circuits, automation.

Самые последние разработки в области микропроцессорной техники способствуют объединению систем автоматизации в автоматизированные системы управления более высокого уровня. Они способны собирать, анализировать и обрабатывать информацию, имеют групповое и комплексное регулирование процессов работы всех агрегатов и технологических схем, а значит могут обеспечивать безаварийную, слаженную и безотказную работу. Сейчас промышленные программируемые логические контроллеры имеют производительность колоссального уровня, а в комплексе с резервированием их работа имеет абсолютное быстрдействие и безотказность.

В статье рассматривается промышленный программируемый логический контроллер Omron CP1L и его применение для автоматизации производственных процессов [1, 2]. Данный продукт является промышленным контроллером, но при этом является таким компактным, что его можно отнести к классу «микро». Он обладает достаточным набором функций, который востребован при управлении различным оборудованием.

Контроллер Omron CP1L обладает высокой надёжностью, он способен работать в большом диапазоне температур, а также имеет совместимость с ПЛК более старших серий по распределению памяти и набору команд. Они находят всё большее применение в системах автоматизации за счёт своей экономичности. Для удобства мониторинга состояния и программирования используется стандартный USB-порт и возможность установки двух дополнительных последовательных портов. Несмотря на все эти преимущества, CP1L обладает весьма умеренной стоимостью на рынке.

ПЛК CP1L допускает применение для программирования двух языков: язык инструкций и язык релейно-контактных схем (РКС), который по-другому называется языком лестничных диаграмм. Последний имеет некоторые преимущества – во-первых он позволяет эффективно формализовывать управляющие алгоритмы, а во-вторых он удобен для восприятия и анализа программы автоматизации. Такой синтаксис обладает удобством при

замене логических схем, которые выполнены на релейной технике.

Доступное окружение разработки для CP1L - это фирменный пакет OMRON CX-ONE, который позволяет конфигурировать и программировать ПЛК на языке РКС. Данный комплект ПО имеет дружелюбный пользовательский интерфейс и сводит к минимуму необходимость к изучению программирования и конфигурирования систем автоматизации. Он разделён на следующие части:

- CX-ConfiguratorFDT - приложение для конфигурирования, диагностики и обслуживания интеллектуальных полевых устройств. CX-ConfiguratorFDT обеспечивает поддержку полевых устройств по любым коммуникационным протоколам.
- CX-Designer – ПО, позволяющее использовать графический интерфейс Windows и взаимодействовать ОС Windows с экранами и другим оборудованием, а данные могут быть созданы просто и легко каждым приложением, которое может запускаться на Windows.
- CX-Drive - это программное обеспечение, предназначенное для конфигурирования сервоприводов и инверторов компании Omron.
- The CX-Integrator - пакет который позволяет читать конфигурации ПЛК через сеть и последовательный порт с ПК через активное подключение. Это позволяет с лёгкостью выполнять много операций, таких как мониторинг, статусы соединения в различных сетях, настраивать параметры и диагностировать сети.
- CX-Programmer- среда разработки программ для ПЛК Omron, позволяет программировать широкий спектр ПЛК. Программирование ведётся на языке релейно-каркасных схем что обеспечивает наглядный интерфейс логики работы контроллера, программа на языке релейной логики имеет наглядный графический интерфейс, представляющий логические операции, как электрическую цепь с замкнутыми и разомкнутыми контактами. Протекание или отсутствие тока в этой цепи соответствует результату логических операций.
- OMRON motion управляет блоками мехатронных приложений для управления точка к точке перемещением до 4 осей на контроллер, включая спектр полезных встроенных функций интерполяции.
- CX-Simulator. ПО используемое для симуляции ЦП блоков Omron CX-Simulator может выполнять следующие операции по загрузке программ от CX-Programmer на тот же самый компьютер на виртуальный ПЛК и управлять ПЛК без подключения к настоящему контроллеру. Данный пакет позволяет отладить программу с виртуальными внешними выводами, используя их виртуализацию, а также использовать различные функции отладки такие как выполнение адреса и точка остановки настроек, которые не доступны на некоторых ПЛК. Помимо этого, доступна симуляция цикла времени работы, позволяющая симулировать ход работы во времени контроллера без ПЛК.

Программу для взаимодействия с периферийным вспомогательным оборудованием информационного типа можно разработать с помощью ПО NT-series Support Tool. Это один из модулей CX-ONE, который часто используется для работы с панелями Omron NT. Примером такой панели является сенсорный монитор OMRON NT21, который владеет весьма широкими возможностями для программирования различных графических элементов на экране, а также имеет собственную операционную систему. Также эта панель оператора обладает монохромным сенсорным экраном.

Использование ПЛК для автоматизации производственных процессов позволяет:

Ускорить процесс производства той или иной продукции, свести к минимуму человеческий фактор, который может привести к сбою производственного процесса, повысить эффективность труда, улучшить качество выпускаемой продукции.

Суть программирования РКС логики — провести сигнал от начальной шины (слева) до конечной (справа) путем замыкания контактов (основанного на данных об изменении рабочих параметров оборудования в ходе выполнения программы для ПЛК, обусловленной спецификой производственного процесса.)

Апробация применения продукции OMRON в виде ПЛК CP1L заключается в разработке управляющих программ для таких объектов автоматизации, как участок транспортировки заготовок в методическую печь и складское помещение.

Участок транспортировки заготовок в печь

Соответствие портов ввода контроллера оборудованию представлена в таблице 1.

Таблица 1. Соответствие портов ввода контроллера оборудованию для методической печи

Обозначение оборудования	Ячейка памяти ПЛК	Функция/Состояние объекта автоматизации
ПР0	0.00	Включение подающего рольганга
ПР1	0.01	Реакция на наличие заготовки
ПР2	0.02	Заготовка достигла необходимого местоположения – находится напротив загрузочного окна печи
ПР3	0.03	Заготовка оказалась перемещена за габариты окна печи – не способность протолкнуть заготовку в печь
ПТ0	0.04	Толкатель полностью задвинут
ПТ1	0.05	Толкатель достиг места касания с заготовкой
ПТ2	0.06	Толкатель достиг дальнего края рольганга
ПТ3	0.07	Толкатель достиг окна печи
ПЗО	0.08	Положения заслонки печи - открыто
ПЗЗ	0.09	Положения заслонки печи - закрыто
Ф	0.10	Фотодатчик, отвечающий за включение отводящего рольганга

Логические функции для элементов схемы (<...> - содержимое ячейки памяти ПЛК):

$P1 = \overline{ПР0}$ в битах контроллера: $\langle 100.07 \rangle = \langle \overline{0.00} \rangle$;

$Rв = \overline{ПР0} \text{ AND } ПТ0$ в битах контроллера: $\langle 100.00 \rangle = \langle \overline{0.00} \rangle \text{ AND } \langle 0.04 \rangle$;

$Rн = ПР3$ в битах контроллера: $\langle 100.01 \rangle = \langle 0.03 \rangle$;

$ЗО = P1 \text{ OR } Rн$ в битах контроллера: $\langle 100.05 \rangle = \langle 100.00 \rangle \text{ OR } \langle 100.07 \rangle$;

$Tв = ПР2 \text{ AND } ПЗО$ в битах контроллера: $\langle 100.03 \rangle = \langle 0.02 \rangle \text{ AND } \langle 0.08 \rangle$;

$Tн = \overline{ПТ0} \text{ AND } ПР0$ в битах контроллера: $\langle 100.04 \rangle = \langle \overline{0.04} \rangle \text{ AND } \langle 0.00 \rangle$;

$RЗ = Ф$ в битах контроллера: $\langle 101.00 \rangle = \langle 0.10 \rangle$.

Закрытие заслонки определяется законом триггерной функции в таблице 2:

Таблица 2. Триггерная функция программы

Аргументы			Выход
Q_{t-1}	RSET	SET	
100.6	0.06 and 0.00	0.09	100.6
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0

Здесь Q_{t-1} – предыдущее состояние триггера.

Соответствие портов вывода контроллера исполнительному оборудованию представлено в таблице 3.

Таблица 3. Распределение портов вывода ПЛК для методической печи

Команда	Ячейка памяти ПЛК	Комментарий/Функция
P1	100.07	Подающий рольганг
Pв	100.00	Движение рольганга вперед
Pн	100.01	Движение рольганга назад
ЗО	100.05	Открытие заслонки
Тв	100.03	Движение толкателя вперед
Тн	100.04	Движение толкателя назад
ЗЗ	100.06	Закрытие заслонки
PЗ	101.00	Включение отводящего рольганга

Итоговая программа показана на рисунке 1.

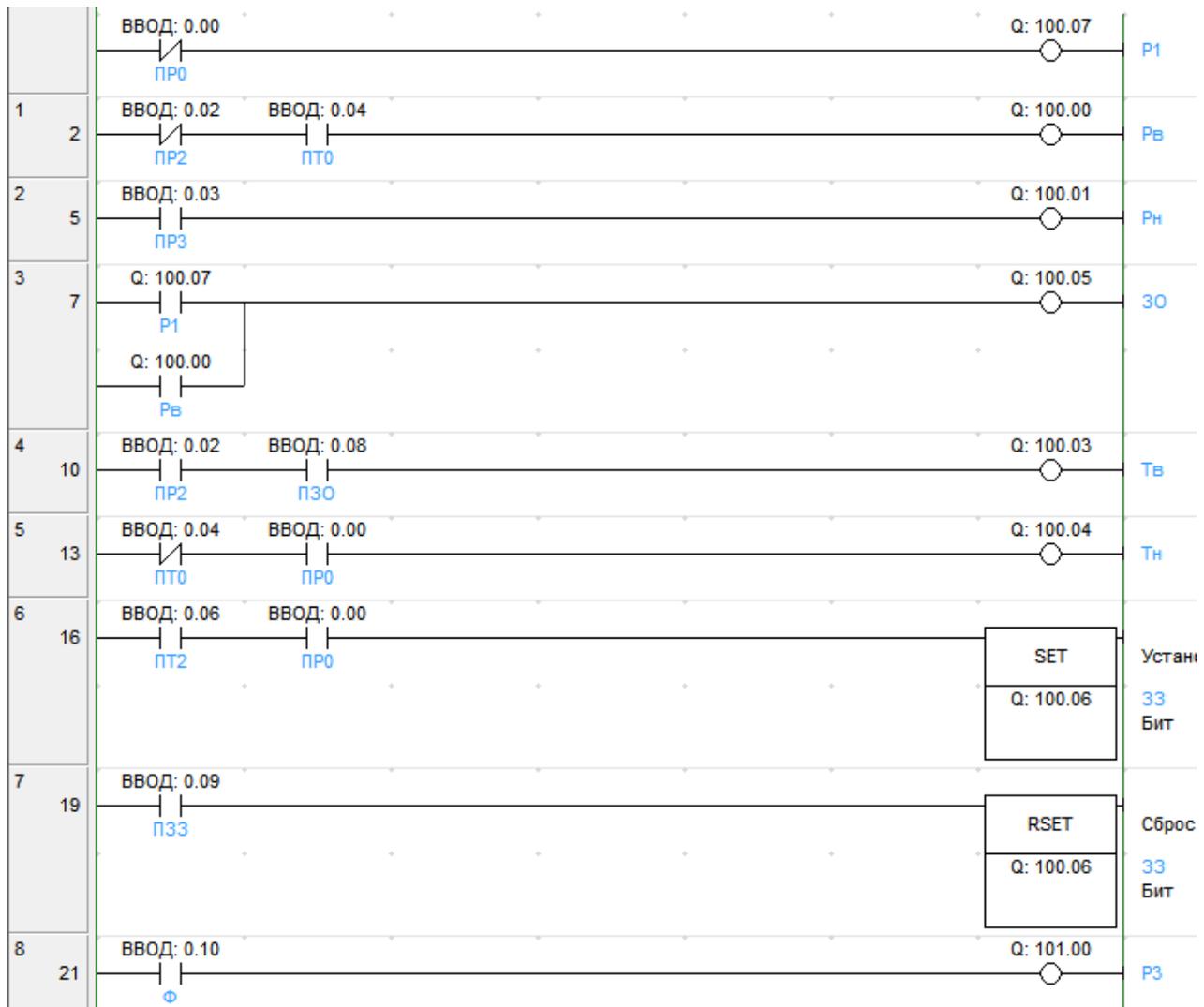


Рис. 1. Программа для участка транспортировки заготовок в методическую печь

Робот-манипулятор

Соотношение портов ввода контроллера представлено в таблице 4.

Таблица 4. Соответствие портов ввода контроллера оборудованию

Обозначение оборудования	Ячейка памяти ПЛК
Датчик К1	0.00
Датчик К2	0.01
Датчик К3	0.02
Датчик К4	0.03
Датчик К5	0.04
Датчик К6	0.05
Датчик К7	0.06

W 0.00 – рабочая область памяти, отвечающая за контроль удержания детали в механизме манипулятора.

Распределение выходов ПЛК приведено в таблице 5.

Таблица 5. Соответствие портов вывода контроллера оборудованию

Команда	Ячейка памяти ПЛК
ВВЕРХ	100.00
ВНИЗ	100.01
ВЛЕВО	100.02
ВПРАВО	100.03
Зажатие заготовки манипулятором	100.04
Разжатие заготовки манипулятором	100.05
Транспортер 1	100.06
Транспортер 2	100.07
Транспортер 3	101.0

Управляющая программа для роботизированного комплекса транспортировки изделий представлена на рисунке 2.

Также стоит упомянуть, что помимо ПЛК в ассортименте доступных периферийных блоков существуют модули расширения входов/выходов. Среди них могут быть как модули расширения ввода/вывода, так и специализированные модули шины ввода/вывода DeviceNet, модули для ввода/вывода аналоговых величин, измерения температуры.

Подводя итог, можно сказать, что программирование ПЛК Omron CP1L с помощью пакета ПО CX-One является весьма удобным процессом, где можно сохранять и открывать последние корректные версии программы и конфигурационных файлов для каждого из устройств, что поможет весомерно сократить риск совершения ошибок в ходе проектирования и тиражирования системы, если даже используются файлы и программы других версий. CX-One поможет пользователю загружать в оборудование корректные и валидные программы и конфигурации на любом этапе работы.

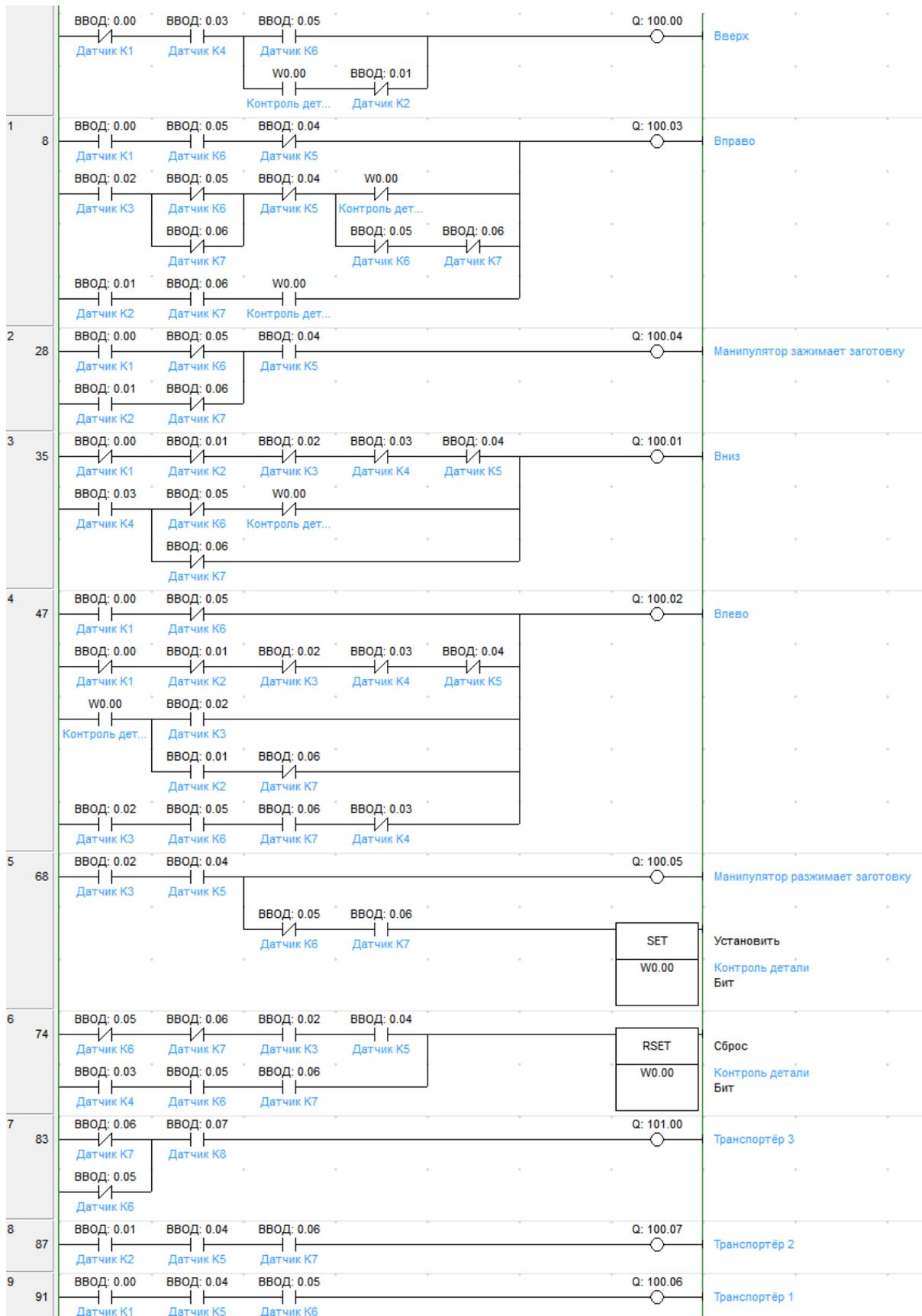


Рис. 2. Управляющая программа для робота-манипулятора

Библиографический список

1. А.Л. Смыслова, К.А. Харахнин, Программирование промышленного логического контроллера Omron Sysmac. – Череповец: Редакционно-издательский центр ЧГУ, 2016.
2. Модуль ЦПУ CP1L/CP1E Вводное руководство. – OMRON, 2012.

УДК 67.02; ГРНТИ 53.01.85

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ИЗ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

К.А. Максимов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, maximov.kirill.alexandrovich@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматривается вопрос разработки АСУ ТП для цеха по изготовлению моделей из пенополистирола, использующихся в технологическом процессе литья по газифицируемому модели. Представлена структурная схема разрабатываемой АСУ ТП, применяемое оборудование автоматизации, осуществлён расчёт срока окупаемости проводимой модернизации цеха.

Ключевые слова: литьё по газифицируемым моделям (ЛГМ), модель, пенополистирол, технологический процесс, качество, автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП), автоматизация.

DEVELOPMENT OF THE AUTOMATED QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MANUFACTURING MODELS FROM POLYSTYRENE

К.А. Maximov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, maximov.kirill.alexandrovich@gmail.com*

The summary. The paper considers the issue of developing an automated process control system for a workshop for the production of models of expanded polystyrene used in the casting process using a gasified model. A block diagram of the developed process control system, applied automation equipment is presented, the payback period of the modernization of the workshop is calculated.

Keywords: casting by gasified models (LFC), model, expanded polystyrene, process, quality, automated process control system (APCS), automation.

Технологический процесс производства отливок по газифицируемым моделям, который в конце XX века получил широкое применение в промышленно развитых странах и в настоящее время считается одним из самых перспективных способов литья, является одним из новейших способов производства отливок. Данный процесс вызвал у литейщиков огромный интерес, т.к. при литье модели не извлекаются, а газифицируются под действием тепловой энергии металла, заливаемого в форму. Такая технология, названная литьём по газифицируемым моделям (ЛГМ), решает важнейшую задачу литейного производства – повышение точности отливок при снижении затрат на издержки производства.[1]

Структурная схема разрабатываемой АСУ ТП для цеха по изготовлению моделей из пенополистирола представлена на рисунке 1. На ней изображён состав оборудования системы, взаимосвязь этого оборудования, а также расположение оборудования согласно участкам цеха. Как видно из схемы, АСУ ТП имеет централизованно-рассредоточенную структуру. Все исполнительные устройства, а также рассредоточенные программируемые логические контроллеры (ПЛК) подключены к центральному ПЛК. Центральный ПЛК выполняет программу работы цеха в целом, отвечает за включение и отключение

исполнительных устройств, позволяет контролировать и регулировать их параметры. Рассредоточенные ПЛК выполняют программы работы конкретных установок и передают информацию о контролируемых параметрах на центральный ПЛК. К центральному ПЛК подключена панель оператора с человеко-машинным интерфейсом, которая выполняет роль SCADA-системы.

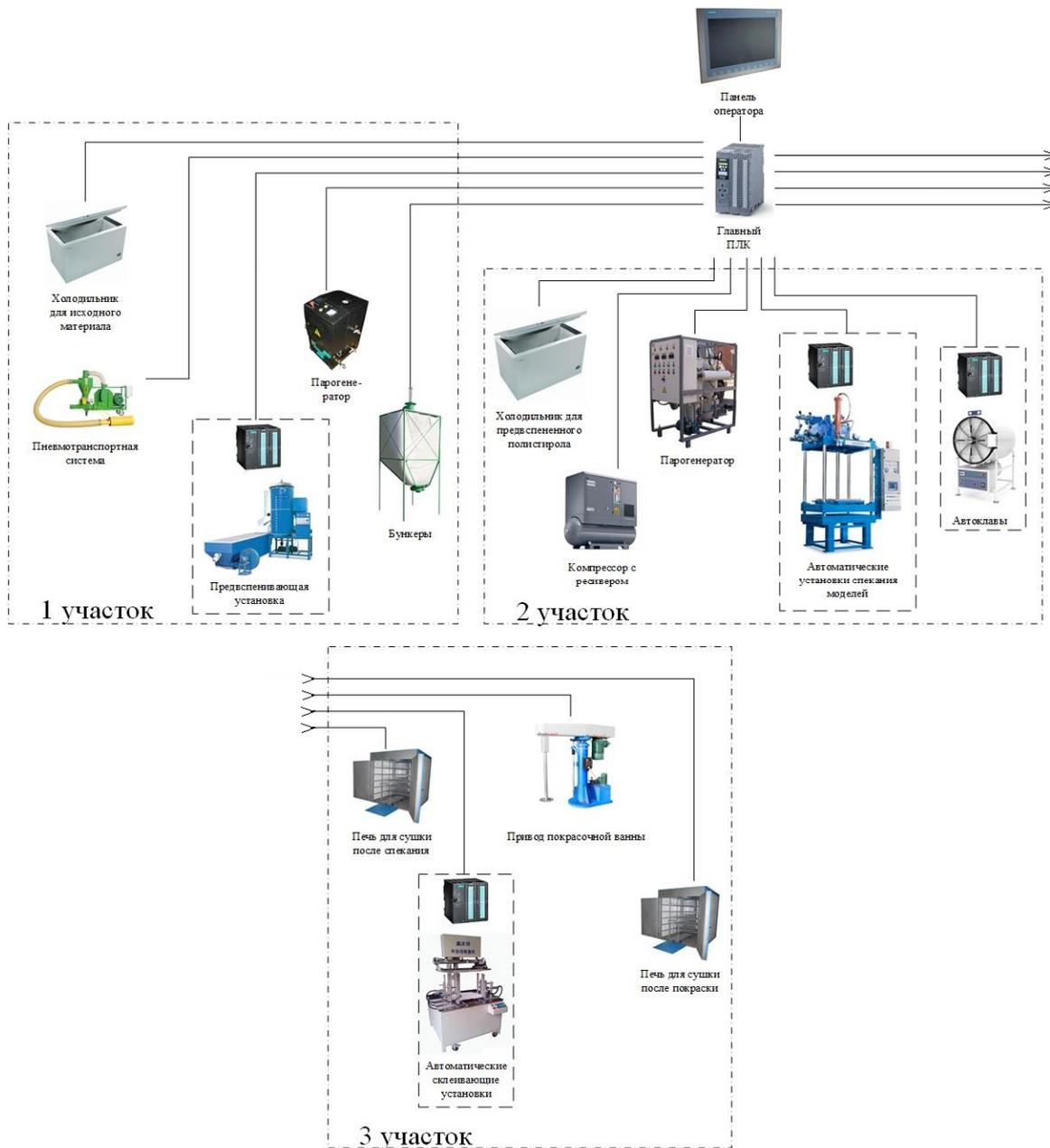


Рис. 1. Структурная схема разрабатываемой АСУ ТП

Для построения разрабатываемой концепции АСУ ТП выбрано использовать оборудование для автоматизации производства фирмы Siemens. В качестве центрального ПЛК выбран контроллер серии Simatic S7-1500 с процессором CPU1516-3. Контроллеры S7-1500 обладают низким временем реакции на внешние события, благодаря чему могут быть использованы для решения задач среднего и высокого уровня сложности.

В качестве контроллеров для управления всеми видами установок выбраны контроллеры серии Simatic S7-300 с процессором CPU314. Контроллеры S7-300 предназначены для построения систем автоматизации низкой и средней степени сложности.

Для обеспечения работы человеко-машинного интерфейса выбраны панели оператора HMI KTP 1200 Basic DP для оператора АСУ ТП и HMI KTP 700 Basic DP для операторов установок.

Для написания программ АСУ ТП используется программное обеспечение Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) V13 фирмы Siemens, в котором, как в единой программной платформе, объединяется все, что необходимо для работы со всеми компонентами автоматизации Siemens на всех этапах работы с проектом. На рисунке 2 представлена схема сети разрабатываемой АСУ ТП, построенная средствами TIA Portal.

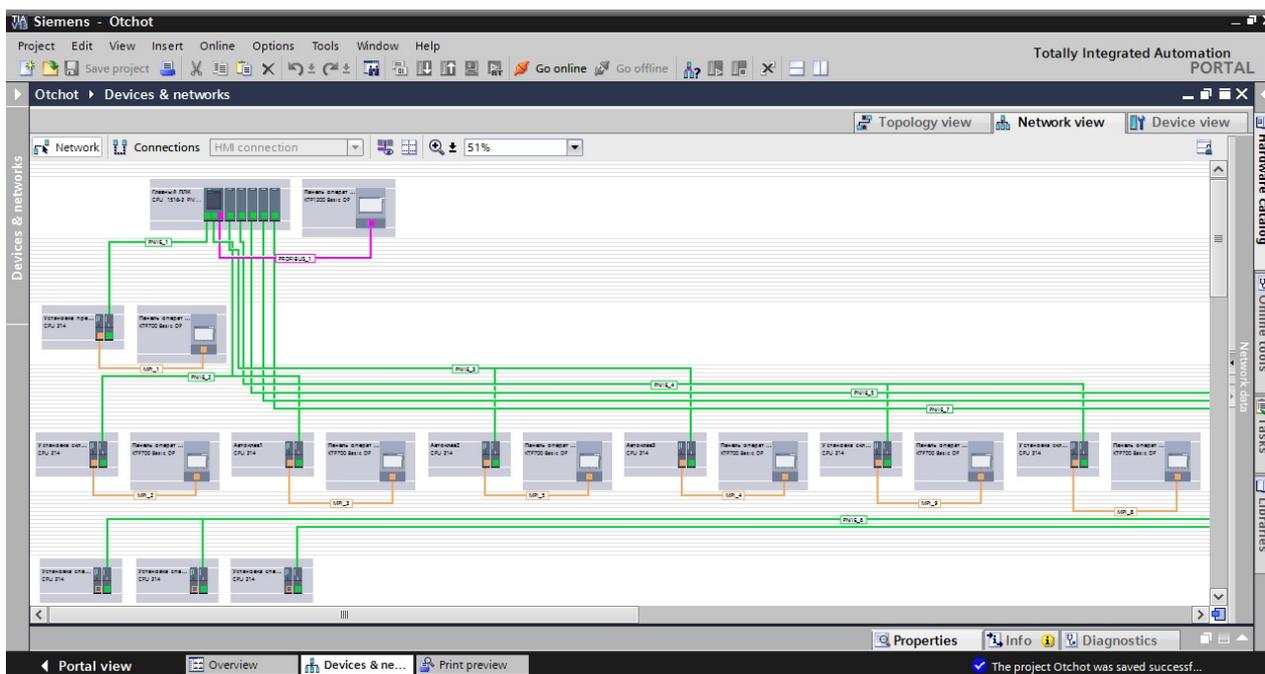


Рис. 2. Схема сети разрабатываемой АСУ ТП

Расходы денежных средств цеха при внедрении разрабатываемой АСУ ТП представлены в таблице 1.

Подсчитав общую сумму затрат получим: 6,465 млн. руб.

Исходя из ранее проведённых исследований средний процент брака цеха: 20,8%. Количество производимых потоковых изделий (опорно-укрывной элемент смотрового колодца) в сутки с учётом брака: 70 шт. Тогда в месяц: 1400 шт. Количество производимых потоковых изделий в сутки без учёта брака: 50 шт. Тогда в месяц: 1000 шт. Количество бракованных изделий в месяц: 400 шт. Цена одного готового потокового: 13 тыс. руб.

Таблица 1. Расходы на внедрение разрабатываемой АСУ ТП.

Наименование	Цена, тыс. руб.	Количество, шт.
Simatic S7-1500 с CPU1516-3	375	1
Simatic S7-300 с CPU314	60	6
HMI KTP 1200 Basic DP	150	1
HMI KTP 700 Basic DP	60	6
Коммуникационный модуль CM 1542	95	5
Коммуникационный модуль CP 343	144	6
Модуль ввода дискретных сигналов DI 32x24VDC	32	1
Модуль вывода дискретных сигналов DQ 32x24VDC/0.5A	45	1
Модуль ввода дискретных сигналов DI 16x24VDC	16	6
Модуль вывода дискретных сигналов DQ 16x24VDC/0.5A	22	6
Модуль ввода аналоговых сигналов AI 8xU/I/RTD/TC	42	7
Модуль ввода аналоговых сигналов AQ 8xU/I	96	7
Оборудование коммутации	10	1
Автоматические установки спекания	500	3
Автоматические склеивающие установки	300	3
Привод покрасочной ванны	100	1
Стоимость установочных и пусконаладочных работ	100	1

После проведения процессов модернизации предполагаемый процент брака должен приблизиться к нулю. Исходя из этого, если учесть, что на этапе производства в «чёрном цехе» процент брака минимален, то выручка от производимой продукции увеличится на 5,2 млн. руб. в месяц. Таким образом затраты на модернизацию окупятся примерно через 1,5 месяца.

Таким образом, процесс модернизации цеха по изготовлению моделей путём внедрения АСУ ТП весьма рентабелен и несёт высокую экономическую выгоду.

Библиографический список

1. Шуляк В. С. Литье по газифицируемым моделям. Спб.: Профессионал, 2007.

УДК 121.745.35:621.365.2

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

И.Е. Синицын, В.Г. Гуськов

Аннотация. Рассмотрены вопросы повышения эффективности работы электродуговой сталеплавильной печи постоянного тока за счёт формирования магнитного поля для стабилизации направления горения дуги с помощью компенсационных электромагнитов - дисковых катушек-соленоидов, проведен анализ воздействия дуги на состояние футеровки корпуса электродуговой печи, предложено конструктивное решение стабилизации дугообразования.

Ключевые слова: магнитное поле, электродуговая печь, футеровка, конструкция, стабилизация, дугообразование, электромагнит, дисковые катушки-соленоиды.

INCREASE IN OVERALL PERFORMANCE OF THE DIRECT CURRENT ARC STEEL-SMELTING FURNACE

I.Ye. Sinitsyn, V.G. Guskov

Summary. Questions of increase in overall performance of the arc steel-smelting furnace of a direct current due to formation of magnetic field for stabilization of the direction of burning of an arch by means of compensation electromagnets - disk coils solenoids are considered, the analysis of impact of an arch on a condition of lining of the case of the arc furnace is carried out, the constructive solution of stabilization of arcing is proposed.

Keywords: magnetic field, arc furnace, lining, design, stabilization, arcing, electromagnet, disk coils solenoids.

Введение

В электродуговых печах постоянного тока (ЭДПТ) плавление металла происходит за счет процесса горения электрической дуги между подовым положительным электродом (анодом) и отрицательным графитовым подвижным электродом (катодом).

Практическое исполнение ЭДПТ, кроме электродов, управляемого выпрямителя и системы управления, включает подвижный печной агрегат, токоподводящие кабели, перемещающиеся вместе с печным агрегатом и стальные несущие конструкции.

При работе ЭДПТ, токоподводящие кабели создают вокруг себя интенсивное магнитное поле, которое оказывает серьезное влияние на направление горения электрической дуги. В отсутствии внешнего магнитного поля, заряженные частицы, находящиеся внутри плавильной камеры, движущиеся между угольным электродом и расплавом металла, распределены по поверхности расплава равномерно и их влияние на состояние футеровки одинаково во всех направлениях.

Внутреннее магнитное поле, создаваемое током угольного электрода внутри плавильной камеры, действует на заряженные частицы также равномерно по всем направлениям [1,2] и не приводит к существенному воздействию их на состояние футеровки внутри плавильной камеры.

При исследованиях магнитных полей вне плавильной камеры было установлено наличие постоянного направленного магнитного поля, которое, как оказалось, создается внешними конструкциями обрамляющими плавильную камеру и токами подводящих кабелей. Экспериментально установлено, что постоянное внешнее магнитное поле проникает внутрь замкнутой поверхности с некоторым ослаблением. Направление магнитного поля внутри камеры сохраняется.

Внешнее магнитное поле складываясь с внутренним магнитным полем угольного электрода (радиуса R) нарушает его однородность. В результате этого создается искаженное внутреннее магнитное поле, определяемое векторной суммой складываемых полей (рис. 1).

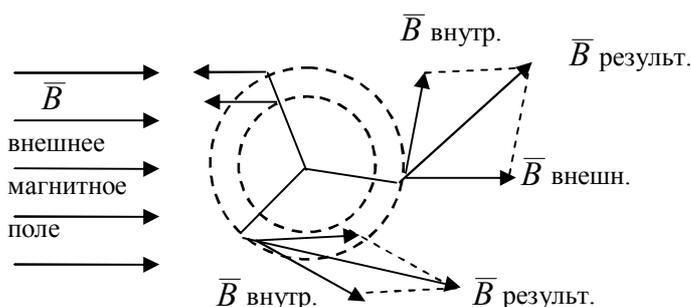


Рис.1. Суммарное магнитное поле

Под воздействием результирующего магнитного поля происходит смещение направления горения электрической дуги (высокотемпературная плазма, состоящая из электронов, ионов и других заряженных частиц) в направлении, определяемом суммарным магнитным полем, что приводит к локальному перегреву и выжиганию части футеровки. В результате локального перегрева и последующего разрушения футеровки сокращается число плавков металла до восстановительного ремонта, и производительность печи снижается.

Цель работы заключается в создании устройства для управления направлением горения дуги внутри плавильной камеры, его конструкции, повышения эффективности работы электродуговой печи.

Разработка устройства

Управление направлением горения дугового разряда в ЭДППТ может осуществляться с помощью дополнительного внешнего электромагнитного поля, создаваемого тремя соленоидами (электромагнитами), расположенными с внешней стороны печи на металлическом корпусе, как, например, предложено в работах [3, 4, 5].

Однако в предложенных конструкциях остаётся существенным влияние стального корпуса электродуговой печи на ослабление магнитного поля внешних электромагнитов, что снижает эффективность работы предложенных устройств.

С целью устранения экранирующего действия металлического корпуса печи на создаваемое соленоидами внешнее электромагнитное поле предложено расположить соленоиды внутри печи между металлическим корпусом и частью футеровочного слоя. Такое решение защищено патентами РФ: №161578 от 06.04.2016г., №2598421 от 01.09.2016г. «Электродуговая печь постоянного тока» [6, 7]. Конструктивно, решение представляет собой четыре плоских охлаждаемых соленоида расположенных внутри печи между слоями футеровки из огнеупорного кирпича (рис. 2).

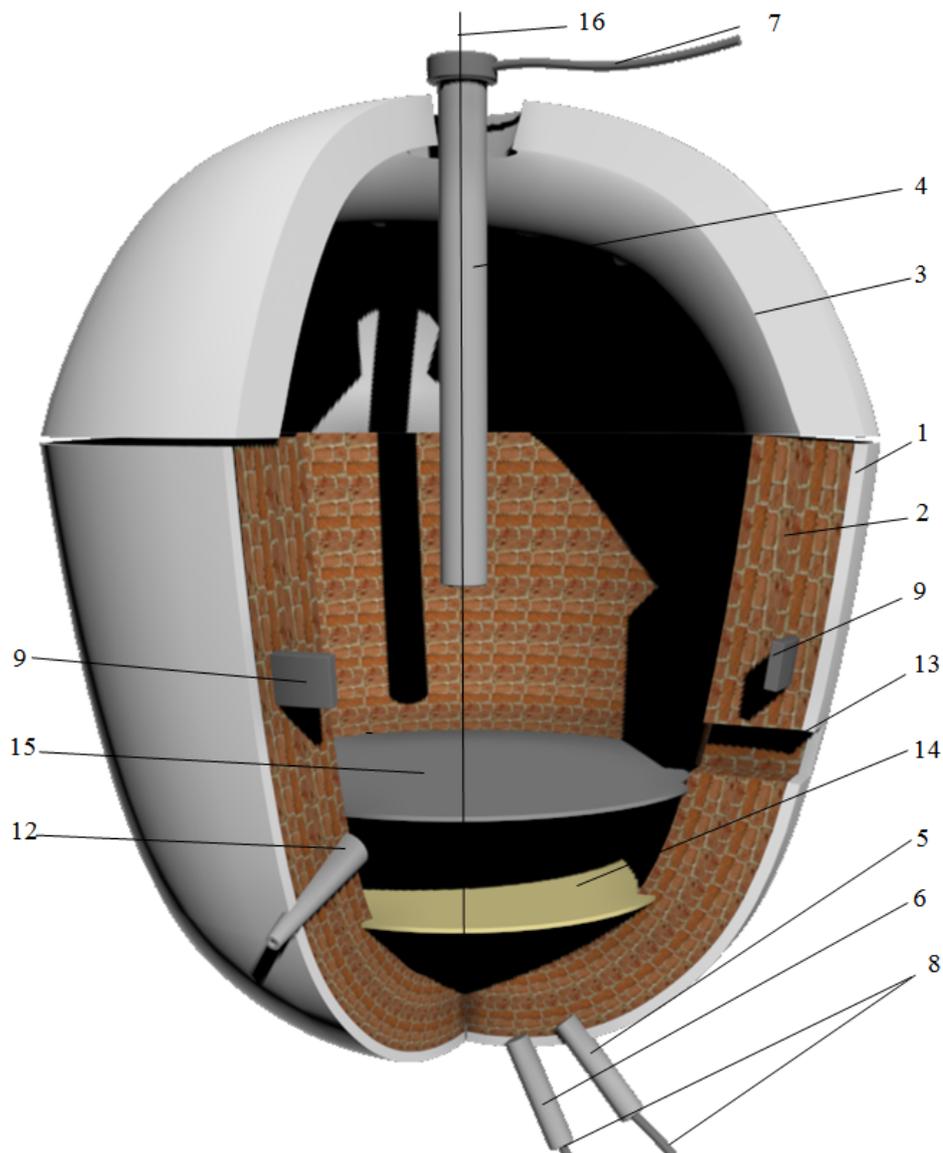


Рис. 2. Электродуговая печь постоянного тока:

- 1 – металлическая оболочка (корпуса плавильной камеры);
- 2 – слой футеровки (из огнеупорного неэлектропроводящего материала);
- 3 – свод (крышка);
- 4 – сводовый электрод (центрированный катод);
- 5 – первый подовый электрод (первый анод);
- 6 – второй подовый электрод (второй анод);
- 7 – токоподвод к сводовому электроду 4;
- 8 – токоподводы к первому и второму подовым электродам 5,6;
- 9 – дисковые катушки-соленоиды;
- 10 – термочувствительные элементы термпары (на рисунке не показаны);
- 11 – блок управления дисковыми катушками-соленоидами 9 (на рисунке не показан);
- 12 – сливной желоб;
- 13 – рабочее окно;
- 14 – минимальный рабочий уровень расплавленного материала (плоскость расплава на его минимальном уровне);
- 15 – максимальный рабочий уровень расплавленного металла (плоскость расплава на его максимальном уровне);
- 16 – ось симметрии плавильной камеры.

Электродуговая печь постоянного тока содержит корпус плавильной камеры, образованный внешней металлической оболочкой 1 и внутренним слоем футеровки 2 из огнеупорного неэлектропроводящего материала, свод (крышку) 3, один сводовый электрод 4, являющийся центрированным катодом для получения электрической дуги, первый и второй подовые электроды 5, 6, смещенные относительно вертикальной оси симметрии 16 плавильной камеры и являющиеся анодами, токоподводы 7, 8 соответственно к сводовому электроду 4 и подовым электродам 5, 6, четыре дисковых катушки-соленоиды 9, множество термочувствительных элементов (ТЧЭ) 10 (на рисунке не показаны), блок 11 управления дисковыми катушками-соленоидами (на рисунке не показан), выводы дисковых катушек-соленоидов 9 подсоединены к выходам указанного блока 11 (на рисунке не показано), сливной желоб 12 для слива металла, рабочее окно 13 для наблюдения за процессом плавки. Дисковые катушки-соленоиды 9 расположены внутри корпуса плавильной камеры под слоем футеровки не ниже максимального рабочего уровня 15 расплавленного металла и выполнены с возможностью работы на постоянном токе при непрерывном охлаждении.

Центры дисковых катушек-соленоидов 9 располагаются на одинаковом уровне по высоте в горизонтальной плоскости попарно диаметрально противоположно, выше максимального уровня 15 расплава металла внутри плавильной камеры так, что оси, проходящие через центры двух пар дисковых катушек-соленоидов, установленных диаметрально противоположно, принадлежат указанной плоскости, а угол между осями, проходящими через центры двух пар дисковых катушек-соленоидов, установленных диаметрально противоположно в указанной горизонтальной плоскости, равен 90 градусов, причём, указанные оси пересекаются между собой в центре плавильной камеры, а плоскости дисковых катушек-соленоидов выполнены изогнутыми по дуге, радиус которой соответствует радиусу внутренней поверхности футеровки 2 в месте установки дисковых катушек.

Устройство работает следующим образом. При поднятом и отодвинутом своде 3 происходит загрузка шихты таким образом, чтобы поверхность расплава находилась в пределах от минимального рабочего уровня 14 до максимального рабочего уровня 15 расплавленного металла. Затем свод 3 закрывают и сводовый электрод 4 опускают в рабочее пространство плавильной камеры. После зажигания дуги, сводовый электрод 4 поднимают вверх, дуга сводового электрода 4 горит над шихтой, прорезая в ней колодец. В этот момент работают сводовый электрод 4 и первый и второй подовые электроды 5 и 6, что обеспечивает вертикальное горение дуги.

В процессе расплавления металла, часть стен плавильной камеры освобождается от шихты и попадает под прямое воздействие дуги, то есть дуга интенсивно излучает тепло на внутренний слой футеровки плавильной камеры что приводит к её интенсивному нагреванию. В этом случае полезная мощность дуги уменьшается и её коэффициент полезного действия составляет примерно 0,56-0,59.

Температура внутреннего слоя футеровки повышается и при отклонении дуги от центра под действием магнитных полей металлических конструкций, обрамляющих плавильную камеру снаружи и подводящих токопроводов.

Для возвращения электрической дуги к центру плавильной камеры, при её отклонении от центра, внутри корпуса плавильной камеры на минимально возможном расстоянии от объекта воздействия – электрической дуги, установлены четыре дисковых катушки-соленоиды 9, о которых шла речь выше. Суммарное магнитное поле дисковых катушек регулируется токами, протекающими по ним. Регулирование осуществляется по специальному алгоритму в зависимости от перегрева области футеровки, прилегающей к той или иной термопаре.

Токи, протекающие по виткам дисковых катушек-соленоидов, создают магнитные поля, направления которых совпадают с направлениями осей дисковых катушек и образуют векторную сумму индукций магнитных полей внутри плавильной камеры. Взаимодействие суммарного магнитного поля с потоком заряженных частиц – электрической дугой определяется силой Лоренца [1], действующей на электрическую дугу в обратном направлении, и электрическая дуга смещается к центру плавильной камеры.

Закключение. Разработанное устройство управления направлением горения дугового разряда в ЭДППТ позволяет решить важнейшие задачи литейного производства – увеличение срока службы электродуговой печи постоянного тока с получением высокого экономического эффекта, повышение эффективности работы электродуговой печи.

Библиографический список

1. И.В. Савельев. Курс общей физики. Том 2. Электричество и магнетизм, волны, оптика. М., «Наука», 1978.
2. Л.Р. Нейман, К.С. Демирчан. Теоретические основы электротехники. Том 1. Ленинград, 1981.
3. Пат. РФ №115453, МПК F27B 3/08. Электродуговая печь постоянного тока/ И.Е. Сеницын, А. М. Володин, А.К. Мусолин, Д.Е. Корытчинков.
4. Пат. РФ №2486717 МПК F27B 3/08. Электродуговая печь постоянного тока/ И.Е. Сеницын, А. М. Володин, А.К. Мусолин, Д.Е. Корытчинков.
5. Пат. РФ №152662, МПК F27B 3/08. Электродуговая печь постоянного тока/ И.Е. Сеницын, В.А. Линьков, А.К. Мусолин, М.Н. Мусолин.
6. Пат. РФ №161578, МПК F27B 3/08. Электродуговая печь постоянного тока/ И.Е. Сеницын, А. М. Володин, А.К. Мусолин, М.Н. Мусолин.
7. Пат. РФ №2598421 МПК F27B 3/08. Электродуговая печь постоянного тока/ И.Е. Сеницын, А. М. Володин, А.К. Мусолин, М.Н. Мусолин.

УДК 330.43

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ МЕТОДОМ ЧАСТНЫХ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Ю.А. Сосулин

Аннотация. Рассматривается процедура получения оценок коэффициентов регрессионных моделей сложных технических объектов и технологических процессов с использованием аппарата частных регрессий. Приводятся выражения, обеспечивающие анализ свойств получаемых оценок параметров регрессионных моделей и качества решения задачи идентификации.

Ключевые слова: регрессионная модель, оценки коэффициентов регрессии, свойства оценок, метод наименьших квадратов.

SOLUTION OF THE PROBLEM OF IDENTIFICATION BY METHOD OF SPECIAL REGRESSION MODELS

Summary. The procedure of receiving estimates of coefficients of regression models of difficult technical objects and technological processes with use of the device of special regressions is considered. The expressions providing the analysis of properties of the received estimates of parameters of regression models and quality of the solution of a problem of identification are given.

Keywords: regression model, estimates of coefficients of regression, property of estimates, method of the smallest squares.

Одной из задач экспериментально-статистического исследования сложных технических объектов и технологических процессов является задача линейной параметрической идентификации. Традиционно [1,2] эта задача решается обработкой, например, методом наименьших квадратов (МНК) результатов эксперимента с целью

получения оценок $\hat{\theta}$ неизвестных коэффициентов θ регрессионной модели заданного вида:

$$y = \eta(x, \theta) + \varepsilon, \quad (1)$$

где y – выходная величина объекта;

x – вектор входных переменных объекта;

θ – вектор неизвестных коэффициентов модели;

η – функция связи;

ε – случайная ошибка, приложенная к выходу объекта.

Наблюдаемые значения выходной величины во всех опытах могут быть представлены следующей матричной формой:

$$y = F\theta + \varepsilon. \quad (2)$$

МНК – оценки $\hat{\theta}$ вектора неизвестных коэффициентов θ могут быть получены в соответствии со следующим выражением:

$$\hat{\theta} = (F^T F)^{-1} F^T y. \quad (3)$$

Здесь F – матрица значений функций – регрессоров, определяемых видом модели.

При соблюдении предпосылок классического регрессионного анализа получаемые таким образом оценки являются наилучшими в классе линейных оценок. При этом теоретический анализ свойств оценок (3) не ставит никаких ограничений на вид модели (1). Однако практическая реализация многомерного регрессионного анализа связана со сложностью регрессионной модели. Количество наблюдений, необходимое для решения задач линейной параметрической идентификации объекта, непосредственно связано с числом оцениваемых параметров, которое в свою очередь зависит от размерности пространства входных факторов и вида аппроксимирующего полинома. Объемы затрат, связанных с планированием и проведением эксперимента, в ряде случаев делают практически невозможным построение регрессионной модели объекта в условиях большой размерности факторного пространства.

Рост размерности пространства входных факторов помимо увеличения экспериментальных затрат ведет к значительному усложнению вычислительной процедуры получения МНК-оценок коэффициентов регрессионной модели. Сама процедура оценивания становится численно неустойчивой в связи с увеличением размерностей участвующих в оценивании матриц, их плохой обусловленностью, появлением ошибок округления при вычислении обратной матрицы. Коэффициенты регрессионной модели оказываются сильно коррелированными между собой, что лишает смысла их интерпретацию. Резко увеличиваются дисперсии оценок коэффициентов, то есть снижается эффективность оценивания и адекватность получаемой регрессионной модели. Отсюда очевидна необходимость процедур параметрической идентификации, работоспособных в условиях большой размерности факторного пространства.

Эффективное решение проблемы многомерного оценивания параметров регрессионной модели может быть получено для технических объектов и технологических процессов, допускающих проведение активного эксперимента, на основе аппарата частных регрессионных моделей.

В работе предлагается методика многомерного оценивания, основанная на разбиении вектора входных факторов объекта на группы (например. x_1 и x_2) и представлении

регрессионной модели общего вида (1) следующей системой частных регрессионных моделей:

$$\begin{aligned} y_1 &= \eta_1(x_1, a) + \varepsilon_1, \\ y_2 &= \eta_2(y_1, x_2, b) + \varepsilon_2, \end{aligned} \quad (4)$$

где y_1 – частная регрессионная модель, связывающая выход объекта с факторами группы x_1 при фиксированных значениях факторов x_2 ;

y_2 – регрессионная модель, связывающая выход объекта с факторами группы x_2 и фигурирующей в качестве независимой переменной первой моделью системы (4);

x_1, x_2 – выделенные подмножества вектора входных переменных объекта;

a, b – векторы коэффициентов частных регрессионных моделей объекта;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – случайные ошибки моделей системы (4).

В матричной форме значения переменных y_1 и y_2 могут быть представлены следующей системой моделей:

$$\begin{aligned} y_1 &= F_1 a + \varepsilon_1, \\ y_2 &= F_2 b + \varepsilon_2. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь матрица F_1 формируется на базе вектора x_1 входных переменных первой группы, а матрица F_2 – на базе вектора x_2 входных переменных второй группы и результатов измерений выходной величины y_1 .

Оценки параметров a и b системы (5) получаются последовательно, начиная с первой модели системы частных регрессий. Очевидно, что для первой модели системы (5) выполняются предпосылки классического регрессионного анализа. Поэтому применение обычного метода наименьших квадратов для оценивания параметров a позволяет получить их несмещенные и состоятельные оценки.

Для получения оценок параметров b второй частной регрессии системы (5) необходимо определить значения факторов группы x_1 , обеспечивающие требуемые уровни варьирования величины y_1 из матрицы F_2 . Однако, истинные значения параметров a неизвестны, а известны лишь их оценки, полученные на первом этапе последовательной процедуры. Эти оценки позволяют получить предсказанные значения y_1 первой частной регрессии:

$$\hat{y}_1 = F_1 \hat{a}. \quad (6)$$

Найденные по этому уравнению значения факторов группы x_1 обеспечивают уровни варьирования предсказанного значения величины y_1 . При этом система частных регрессионных моделей принимает вид:

$$\begin{aligned} y_1 &= F_1 a + \varepsilon_1, \\ y_2 &= \hat{F}_2 b + \varepsilon_2. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь матрица \hat{F}_2 формируется на базе вектора x_2 входных переменных второй группы и предсказанных значений \hat{y}_1 выходной величины y_1 . Таким образом, все факторы второго

уравнения системы (7) имеют характер predetermined переменных. Это позволяет и на втором этапе последовательной процедуры использовать обычный метод наименьших квадратов для получения несмещенных и состоятельных оценок параметров b второй частной регрессионной модели системы.

Получаемые таким образом несмещенные и состоятельные оценки \hat{a}, \hat{b} коэффициентов a и b частных моделей позволяют получить несмещенные и состоятельные оценки коэффициентов θ регрессионной модели общего вида (1) через полученные оценки параметров частных регрессионных моделей. Требуемые оценки $\hat{\theta}$ получаются при подстановке оценки \hat{y}_1 первого частного уравнения системы (4) во второе:

$$\begin{aligned}\hat{y}_1 &= \eta_1(x_1, \hat{a}), \\ \hat{y}_2 &= \eta_2(\hat{y}_1, x_2, \hat{b}).\end{aligned}\quad (8)$$

Для автоматизации процесса параметрической идентификации, а также для анализа статистических свойств получаемых оценок, преобразования (8) должны быть представлены в матричной форме. Оценки $\hat{\theta}$ общей регрессионной модели стандартного вида могут быть связаны с оценками \hat{a}, \hat{b} коэффициентов a и b частных регрессионных моделей следующим матричным преобразованием:

$$\hat{\theta} = A\hat{b}.\quad (9)$$

Здесь A – матрица линейного преобразования, составленная из оценок \hat{a} коэффициентов a первой частной регрессии и сформированная на основе анализа взаимосвязи частных моделей и регрессионной модели стандартного вида.

Анализ эффективности получаемых оценок регрессионных коэффициентов, построение для них доверительных интервалов и проверка значимости требуют знания элементов дисперсионно-ковариационной матрицы этих оценок. Для оценок, получаемых непосредственной обработкой экспериментальных данных методом наименьших квадратов, эта задача решается автоматически. Для оценок $\hat{\theta}$, получаемых на основе параметров частных регрессионных моделей, дисперсионно-ковариационная матрица формируется в соответствии с преобразованием (9). При этом выражение для вычисления ковариационной матрицы оценок параметров общей регрессионной модели имеет вид:

$$\text{Cov}(\hat{\theta}) = A\text{Cov}(\hat{b})A^T + \hat{\beta}\hat{\beta}^T \otimes [\text{Cov}(\hat{a})]^e + \text{Cov}(\hat{\beta}) \otimes [\text{Cov}(\hat{a})]^e.\quad (10)$$

Здесь $\hat{\beta}$ – часть вектора \hat{b} , содержащая оценки коэффициентов второго частного уравнения регрессии при членах, содержащих выходную величину y_1 .

В матрицах вида [...] ^e предполагается дополнение снизу и справа нулевыми строками и столбцами кронекеровых произведений до размеров матрицы $\text{Cov}(\hat{\theta})$.

Рассмотренная последовательная процедура оценивания параметров частных регрессионных моделей и их преобразования в оценки параметров полной регрессионной модели общего вида легко обобщается на случай разбиения вектора входных факторов объекта на произвольное число групп.

Библиографический список

1. Айвазян С.А. Основы эконометрики. – М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2001. — 432 с.
2. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. – М.: Дело, 1998. - 248 с.

СЕКЦИЯ «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

УДК 537.8: 681.3; ГРНТИ 89.01

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫЯВЛЕНИЯ СОБЫТИЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ МОДУЛЯЦИИ ФОНОВОГО СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ

В.Я. Варгашкин

*Орловский государственный университет им. И.С.Тургенева,
Российская Федерация, Орел, finstp@bk.ru*

Аннотация. В настоящей работе проанализированы статистические распределения временных флуктуа фонового СВЧ-излучения. Показано, что хвосты этих распределений сформированы частотно-независимыми выбросами. Выдвинуто предположение, что эти выбросы определяются гравитационной модуляцией излучения в рамках эффекта Сакса-Вольфа. Предложена методика выявления событий модуляции излучения.

Ключевые слова: фоновое СВЧ-излучение, гравитационное линзирование, гравитационное микролинзирование, эффект Сакса-Вольфа, модуляция температуры, статистическое распределение, анизотропия излучения.

THE METHODIC OF FORMING OF EVENTS IDENTIFICATION OF GRAVITATIONAL MODULATION OF CMB

Vladimir Ya. Vargashkin

*Orel State University named after I.S. Tourgueniev
Russian Federation, Oryol, finstp@bk.ru*

Abstract. In this work statistical distributions of temporary fluctuations of CMB are analyzed. It is shown that tails of these distributions are created by frequency-independent jets. The assumption is made that these jets are defined by a gravitational modulation of CMB within Sachs–Wolfe’s effect. The methodic of events identification of gravitational modulation of CMB is offered.

Keywords: cosmic microwave background, gravitational lensing, gravitational microlensing, Sachs–Wolfe’s effect, modulation of temperature of radiation, statistical distribution, anisotropy of radiation.

Выявление событий гравитационного линзирования излучения, например, квазизвездных объектов линзовыми галактиками, выполняют путем исследования оптических либо радиоволновых спектров близкорасположенных изображений квазаров [1]. Достаточная степень близости спектральных составов таких изображений является критерием в пользу вывода о том, что такие изображения являются следствием гравитационного модулирования излучения одного объекта.

Если чувствительность средств измерения не позволяет разделить каждое из линзируемых изображений, то события гравитационного линзирования выявляют по специфическим изменениям блеска линзируемого объекта. Это могут быть кривые блеска отдельных звезд, которые линзируются объектами темной материи галактических гало. Достаточная степень близости наблюдаемой кривой изменения блеска ее стандартному теоретическому виду является критерием в пользу того, что блеск был подвергнут линзированию, которое в данном случае именуют микролинзированием. Известен также эффект гравитационного микролинзирования отдельных участков изображений квазизвездных объектов, образованных в результате гравитационного линзирования.

Основным отличием явления гравитационного микролинзирования от обычной переменности лучеиспускающих объектов является высокая степень инвариантности кривой блеска к частоте линзируемого излучения, т.е. ахроматизм ее возрастающей и ниспадающей ветвей.

Данная особенность может быть использована для выявления событий гравитационного линзирования и микролинзирования фрагментов микроволнового реликтового излучения в различных направлениях небесной сферы. Однако в настоящее время отсутствуют экспериментальные базы данных, содержащие достаточно длительные

временные зависимости оптических характеристик реликтового излучения с достаточно высоким разрешением по угловым направлениям небесной сферы. Поэтому, в частности, коллаборация исследовательских групп «*Planck*» и «*BICEP2*» [2] занималась исследованием «холодных» и «горячих» пятен на статических картах распределения излучения по небесной сфере. При этом о событиях микролинзирования судили по отклонениям зависимостей убывания температуры от экстремальных до фоновых ее значений от аналогичных зависимостей, получаемых в условиях отсутствия модулирующего тяготения. Данные эксперименты имеют ограниченную точность в связи с малой их длительностью и низким угловым разрешением.

Таким образом, поиск событий гравитационного модулирования параметров микроволнового реликтового излучения является актуальной проблемой. В задачу настоящего исследования входит разработка методики выявления событий такого модулирования.

Наиболее продолжительными и точными измерениями температуры микроволнового излучения с высоким угловым разрешением по направлениям небесной сферы являются орбитальные спутниковые эксперименты с применением зондов «*WMAP*» (США) [3] и «*Planck*» (ЕС) [4].

Первые из этих измерений осуществлялись в течение девяти лет на частотах 23 Гц (13043 мкм), 33 Гц (9091 мкм), 41 Гц (7317 мкм), 61 Гц (4918 мкм) и 94 Гц (3191 мкм). Эксплуатация второго зонда длилась восемь лет с применением двух частотных диапазонов, нижнего – с частотами , и верхнего 30 Гц (10000 мкм), 44 Гц (6818 мкм) и 70 (4286 мкм) нижнего – с частотами 100 Гц (1000 мкм), 143 Гц (2098 мкм), 217 Гц (1382 мкм), 353 Гц (850 мкм), 545 Гц (550 мкм) и 857 Гц (350 мкм).

Важным достоинством данных спутниковых экспериментов явилась высокая разрешающая способность по направлениям небесной сферы. Эксперименты «*WMAP*» выполнялись по 3145728, а также – по 12582912 направлениям небесной сферы, что соответствовало разрешениям $0,1145^{\circ}$, а также – $0,0573^{\circ}$ по плоскому углу, а также $3,9947416 \times 10^{-06}$ ср, а также – $9,9868541 \times 10^{-07}$ ср – по телесному углу.

Полученные данные являются усредненными по девяти годичным накопительным циклам для зонда «*WMAP*», а также для восьми накопительным циклам для зонда «*Planck*». Существенная длительность накопительных циклов и ограниченное их количество за время эксплуатации спутников не позволяют с необходимой точностью зафиксировать кривые изменения микроволнового реликтового излучения с целью установления событий гравитационного линзирования и микролинзирования. Однако полученные результаты позволяют выявлять наиболее существенные скачки амплитуды, а следовательно, и температуры излучения между смежными накопительными циклами с последующей проверкой этих скачков на ахроматизм, характерный для гравииоптических явлений. Наличие ахроматизма является аргументом в пользу вывода о предполагаемом вкладе в модулирование реликтового излучения таких гравииоптических явлений, как эффект Сакса-Вольфа.

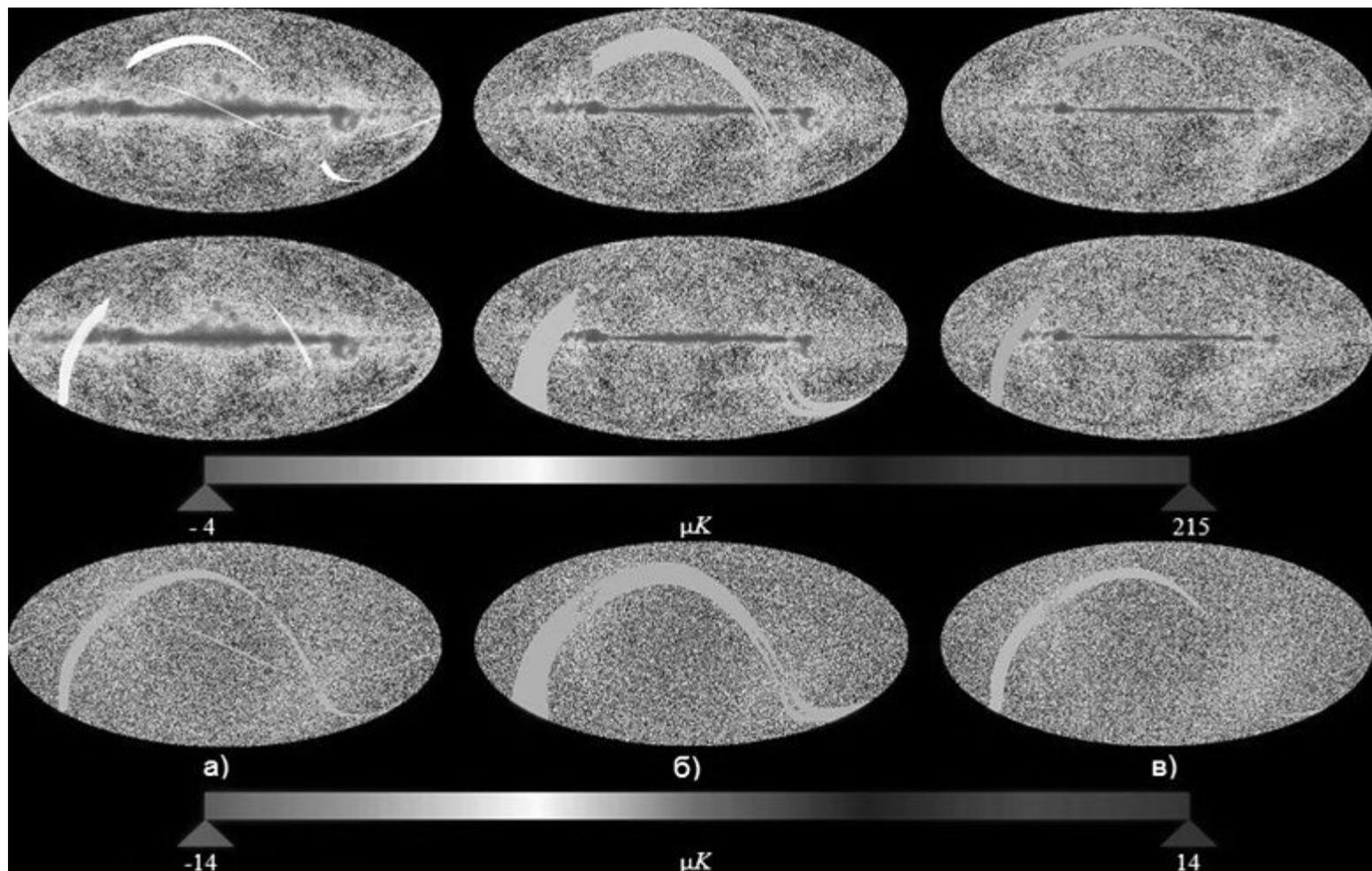


Рис. 1. Распределения температурной анизотропии T_{CMB} по небесной сфере на частотах 30 (а), 44 (б) и 70 ГГц (в) по данным второго (верхний ряд) и первого измерительных циклов (средний ряд), а также изменений ΔT_{CMB} анизотропии (нижний ряд)

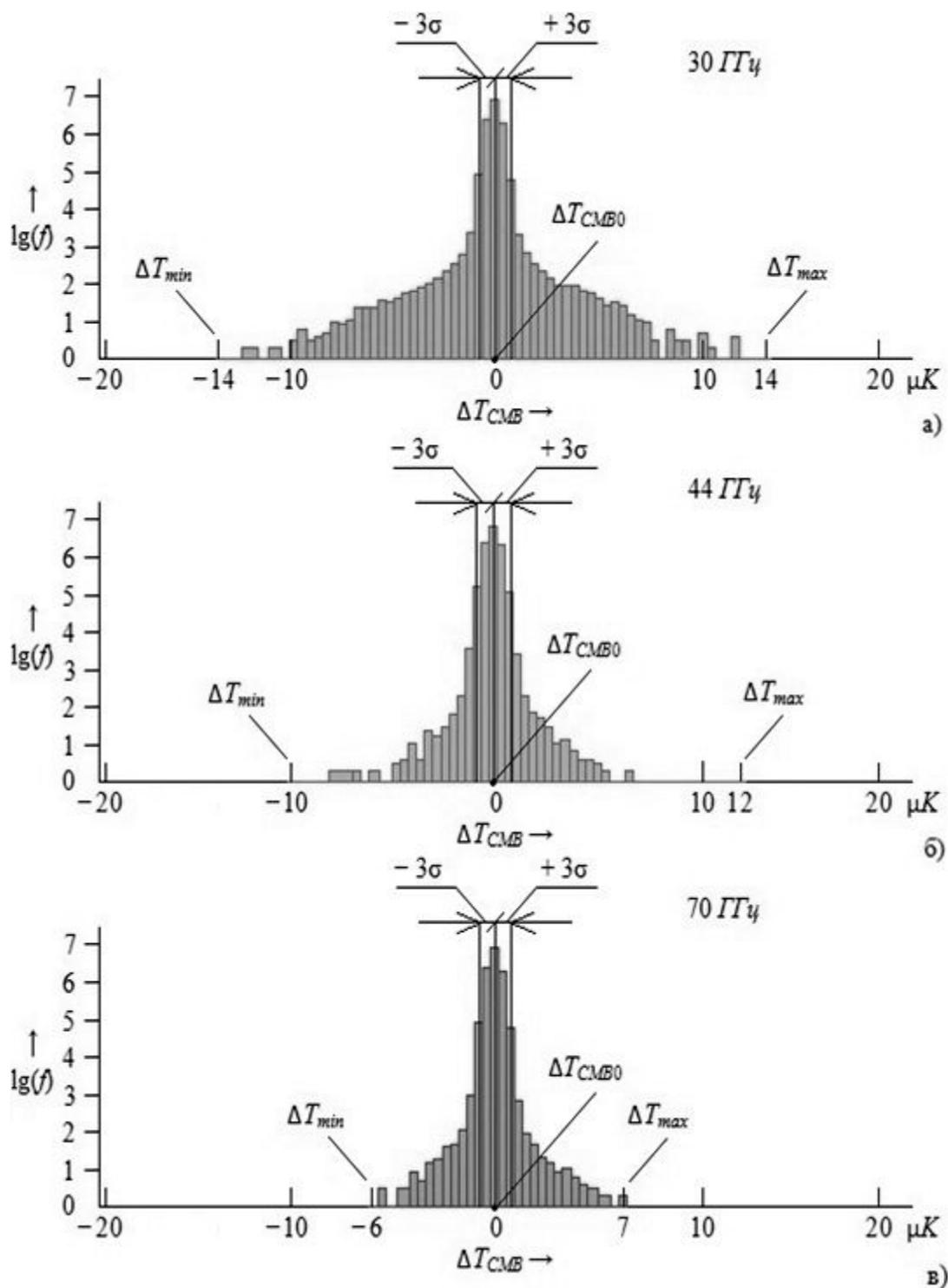


Рис. 2. Статистические распределения разностей ΔT_{CMB} температурной анизотропии T_{CMB} для второго и первого накопительных циклов для частот 30 ГГц (а), 44 ГГц (б), а также 70 ГГц (в)

Разрабатываемая методика обработки экспериментальных данных при этом содержат четыре этапа.

На первом этапе необходимо вычислить изменения ΔT температурной анизотропии T_{CMB} излучения для всех имеющихся направлений на небесной сфере. При этом следует определить разности температурной анизотропии, соответствующие соседним парам накопительных циклов для каждой из имеющихся частот спутниковых измерений. В верхнем и среднем рядах рис.1 изображены распределения по небесной сфере температурной анизотропии T_{CMB} по небесной сфере, построенные в проекции Мольвейде для второго (верхний ряд) и первого (средний ряд) накопительных циклов и частот 30 ГГц (а) (левый столбец), 44 ГГц (б) (средний столбец) и 70 ГГц (в) (правый столбец), полученные по результатам спутниковых измерений зонда «Planck». Нижний ряд рис.1 содержит разности значений температурной анизотропии T_{CMB} , изображенных на картах в верхнем и средних рядах, т.е. распределения по небесной сфере анализируемых изменений ΔT температурной анизотропии T_{CMB} .

На втором этапе следует установить статистические распределения значений скачков анизотропии. На рис. 2 изображены статистическое распределение изменений ΔT температурной анизотропии T_{CMB} излучения для частот 30 ГГц (а), 44 ГГц (б) и 70 ГГц (в).

В задачу третьего этапа входит выявление частотно-независимых скачков анизотропии микроволнового реликтового излучения. Эти скачки должны принадлежать, во-первых, одним и тем же направлениям на небесной сфере, во-вторых, однонаправленным изменениям анизотропии, т.е. ее увеличению, либо ее уменьшению, в-третьих,- принадлежать одним и тем же смежным накопительным циклам, и, в-четвертых, должны быть получены минимум на трех из имевшихся частот спутниковых измерений.

На четвертом этапе следует выявить скачки амплитуды излучения, вероятность случайного попадания которых в хвосты распределения на разных частотах оказывается существенно меньшей экспериментально установленной вероятности их существования в каких-либо направлениях на небесной сфере.

Непосредственные расчеты с использованием предложенной методике показали, что в рамках каждого из накопительных циклов спутниковых измерений может присутствовать до нескольких сотен событий гравитационного модулирования фонового СВЧ-излучения.

Библиографический список

1. Захаров А.Ф. Гравитационные линзы и микролинзы.-М.: Янус-К, 1997.-328 с., ил.
2. Gravitational lensing of the cosmic microwave background [Электронный ресурс] // <http://sci.esa.int/planck/51606-gravitational-lensing-of-the-cosmic-microwave-background/?secured=-1> (англ.). (Дата обращения: 12.12.2018).
3. Nine-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe [Электронный ресурс] // lambda.gsfc.nasa.gov: Legacy Archive for Microwave Background Data Analysis. URL: http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/map/dr5/pub_papers/nineyear/basic_results/wmap_9yr_basic_results.pdf (англ.). (Дата обращения: 12.12.2018).
4. Planck: Exploring the Birth of Our Universe [Электронный ресурс] // [nasa.gov: nasa official. URL: https://www.nasa.gov/mission_pages/planck/overview.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/planck/overview.html) (англ.). (Дата обращения: 12.12.2018).

УДК 621.396

О ПРИМЕНЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В СИСТЕМАХ РАДИОМОНИТОРИНГА

А.З. Айтмагамбетов, А.Е. Кулакаева*, Ю.А. Бутузов**

Международный университет информационных технологий,Республика Казахстан, Алматы, altayzf@mail.ru, aigul_k.pochta@mail.ru**** Институт космической техники и технологий, Республика Казахстан, Алматы*

Аннотация. Рассмотрены возможности применения космических аппаратов в системах радиомониторинга для анализа радиосигналов и определения местоположения источников радиоизлучения. Предлагается метод определения координат источника радиоизлучений с помощью одного космического аппарата.

Ключевые слова: радиомониторинг, источник радиоизлучений, радиоконтроль, радиочастотный спектр, космический аппарат.

ON THE APPLICATION OF SPACECRAFT IN RADIOMONITORING SYSTEMS

A.Z. Aitmagambetov, A.E. Kulakayeva*, Yu. A. Butuzov**

International University of information technology,The Republic Of Kazakhstan, Almaty, altayzf@mail.ru, aigul_k.pochta@mail.ru****Institute of space technology, Republic of Kazakhstan, Almaty*

The summary. The possibilities of using spacecraft in radio monitoring systems for the analysis of radio signals and determining the location of radio emission sources are considered. A method for determining the coordinates of the radio emission source using a single spacecraft is proposed.

Keywords: radiomonitoring, radio emission source, radiocontrol, radio frequency spectrum, spacecrafts.

В настоящее время повышение эффективности использования радиочастотного спектра (РЧС) имеет большое значение для развития и внедрения новых технологий телекоммуникаций. Важная роль в повышении эффективности использования РЧС принадлежит радиомониторингу. В литературе [1] определены цели, задачи, функции станций радиомониторинга. В основном функции радиомониторинга осуществляются на базе наземных сетей и станций радиоконтроля. В последние годы проявляется интерес к использованию для радиомониторинга малых космических аппаратов (МКА). Применение космических аппаратов в качестве станций радиоконтроля целесообразно для стран с большими территориями и со сложными рельефом и климатическими условиями, в частности к таким странам относится Республика Казахстан. Системы радиомониторинга в этом случае будут включать в себя космический и наземный сегменты и выполнять комплекс функций станций радиоконтроля.

Основными задачами станций радиоконтроля является анализ, опознавание сигналов и определение местоположения источников радиоизлучений (ИРИ).

В системах радиомониторинга сигналы, поступающие на приемные устройства МКА от радиопередатчиков ИРИ являются случайными. Кроме того, эти сигналы можно отнести к классу финитных, которые локализованы на некотором конечном интервале времени. Моделями принятых сигналов могут быть подобранные для них аналитические выражения [2].

Принятые сигналы необходимо обработать по оптимально выбранному алгоритму. Обработку сигнала можно осуществлять по следующим параметрам: мощность; энергия; частота и ширина полосы; начальный момент; центральный момент; автокорреляционная функция; взаимно корреляционная функция; непрерывный спектр,

дискретный спектр и др.

Для определения мощности наземного ИРИ математическая модель может быть представлена формулой [10, 4]:

$$P_{\text{изл}} = P_{\text{ПРК}} + L_{\text{П}} = P_{\text{ПРК}} + L_0 + L_{\text{д}} + L_{\text{Г}}, \quad (1)$$

Энергию сигнала можно определить на интервале $t_1 \leq t \leq t_2$, как интеграл квадрата уровня принятого сигнала. Как правило радиосигналы являются узкополосными. Далее рассмотрим метод измерения частоты при анализе сигналов. Когда между МКА и ИРИ существует относительная скорость движения, то вследствие эффекта доплеровского сдвига между переданным и принятым сигналами возникает разница частот, пропорциональная этой относительной скорости. Поэтому измерение несущей частоты должно производиться с учетом доплеровского сдвига [2]. Далее приведены основные соотношения при влиянии доплеровского сдвига:

$$f_s = c * f_r / (c - v * \cos \rho), \quad (2)$$

$$(\Delta f_s / \Delta t)_{\text{max}} = f_r * v^2 / (c * d), \quad (3)$$

где f_s – частота приема;

f_r – частота передачи; v – скорость МКА;

d – минимальное расстояние при прохождении;

c – скорость распространения электромагнитных волн;

ρ – угол между направлением полета и линией прямой видимости на передающую станцию (ИРИ).

По данным уравнениям можно сделать следующие выводы:

- частота приема выше частоты источника сигнала, когда МКА приближается к ИРИ;
- измерение дает точное значение частоты ИРИ в момент наибольшего сближения;
- частота приема ниже частоты источника сигнала, когда МКА удаляется от ИРИ;
- эффект доплеровского сдвига пропорционален частоте источника и относительной скорости между МКА и ИРИ [2].

В справочнике [1] рекомендуется использование модифицированного метода, который позволяет повысить точность измерения частоты. Для построения кривой частоты Доплера и последующей параболы достаточно использовать отдельные измеренные значения в пределах ± 30 с от момента наибольшего сближения. В данном случае это соответствует примерно диапазону углов между направлением полета и линией прямой видимости на ИРИ $\rho = 15,7^\circ - 164,3^\circ$.

Для примера рассмотрим частоту несущего колебания ИРИ $f_r = 11000$ МГц, тогда согласно (2) частота приёма f_s будет изменяться в пределах от 11000263,2 кГц до 10999736,8 кГц (изменение относительно точного значения частоты составит $\pm 263,2$ кГц).

При использовании этого метода, а также цезиевого генератора опорной частоты может быть получена точность не хуже $\pm 5 \times 10^{-9}$ Гц или лучше [1]. Вместо методов графической оценки, требующих значительного времени, предпочтительнее использовать программные методы решения, при которых можно непосредственно обрабатывать результаты измерения на одной частоте с помощью частотомера.

При использовании данного метода также можно сделать вывод о том, что если построенная зависимость доплеровского сдвига для заданной частоты излучения и полученная зависимость с учетом погрешности измерения отличаются, то это является свидетельством нестабильности частоты.

Важной операцией при определении местонахождения ИРИ может являться корреляционная обработка принятых на МКА сигналов. Определение времени задержки прихода сигналов с неизвестными параметрами в кластер МКА-ретрансляторов в наиболее общем случае может осуществляться путем их взаимной корреляционной обработки. Например, в работе [6] предложено с целью повышения быстродействия алгоритма определения времени задержки взаимокорреляционную функцию в области ее максимального значения аппроксимировать кривой второго порядка.

Опознавание радиоизлучений необходимо для обеспечения приема желаемой передачи и определения источников передачи [1]. Некоторые радиостанции, например, радиовещательные, считают нужным передавать свои опознавательные сигналы как можно чаще, другие считают это неприятной необходимостью, а то и преднамеренно стремятся скрыть, кто ведет передачу. Необходимо, чтобы излучения можно было легко опознавать для обеспечения должного выполнения международных правил в целях эффективного использования частотного спектра.

При выделении сигнала опознавания передатчика и определений типа услуги радиовещательных станций необходимо руководствоваться Рекомендацией Международного союза электросвязи (МСЭ)[8]. В случае передачи данных, не относящихся к услугам радиовещания, эти измерения необходимы для проверки отношения между данными, относящимися и не относящимися к услугам радиовещания.

Алгоритм анализа и опознавания радиосигналов должен включать следующие этапы:

- определение частоты радиосигнала;
- проверка соответствия использования РЧС Таблице распределения РЧС Республики Казахстан [9];
- определение ширины полосы радиосигнала и структуры спектра;
- определение вида модуляции;
- определение вида сообщения, услуги;
- легитимность ИРИ.

Анализ сигналов представляет собой систематический подход к проблеме, а не только техническое решение. В большинстве случаев технические средства необходимы, но более важны методы работы и обработки сигналов. Постановка задачи оператору контроля определяет структуру приемной станции и системы анализа сигналов. Эта система может быть, например, широкополосной или узкополосной, или специально предназначенной для конкретного диапазона частот.

Для выполнения функций местоположения ИРИ предлагается рассмотреть метод определения координат ИРИ с помощью только одного МКА, который находится на круговой полярной орбите (наклонение $i = 90^\circ$)[11].

Для реализации данного метода на МКА должны быть установлены две приемные активные фазированные антенные решетки (АФАР) [3], которые соответствуют перечисленным ниже требованиям:

- возможность быстрого (безынерционного) обзора пространства за счет качания лучей антенн электрическими методами (электрическое сканирование);
- узкие лучи в одном направлении для повышения точности определения угловых координат ИРИ и широкие – в ортогональном направлении;
- увеличение уровней принимаемой мощности за счет размещения в каналах решетки усилителей высокочастотной энергии;
- особенно важно то, что расположение элементов в АФАР должно обеспечить пространственный сектор сканирования по сферической поверхности Земли.

Совместная обработка сигналов, принятых отдельными элементами антенных решеток, позволит получить более полную и точную информацию об ИРИ.

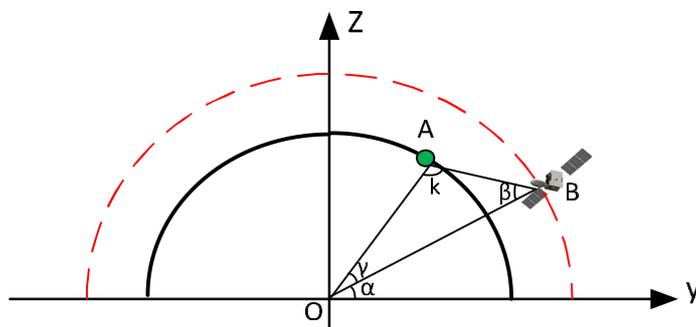


Рис.1. Определение широты ИРИ при сканировании

На рисунке 1 иллюстрируется способ определения широты местонахождения ИРИ. Плоскость орбиты МКА обозначена пунктирной линией, текущее положение которого точка В. Узкий луч одной из его антенн сканирует от направления ВО до направления ВА, где фиксируется сигнал от ИРИ, находящегося в точке А. Широта МКА в момент приема сигнала определяется углом α , а широта ИРИ φ суммой углов $(\alpha + \gamma)$. Угол α известен, так как высокоточная координатная привязка МКА осуществляется с помощью навигационной системы ГЛОНАСС. Известен также угол β , поскольку в процессе сканирования он изменяется по линейному закону в функции времени и также определяется в момент приема сигнала.

В треугольнике АОВ известны угол β и две стороны: АО ($R_3 = 6371,1$ км - радиус Земли) и ОВ – расстояние МКА от центра масс Земли ($R_3 + h = 7171,1$ км (высота орбиты $h = 800$ км)).

Для определения угла k воспользуемся теоремой синусов:

$$\frac{BO}{\sin k} = \frac{AO}{\sin \beta} \quad (4)$$

Далее определяем угол $\gamma = (180 - \beta - k)$ и широту ИРИ $\varphi = (\alpha + \gamma)$.

Ниже приведены формулы для расчета основных углов и расстояния между ИРИ и МКА АВ:

$$k = 180 - \arcsin[(1+h/R_3) * \sin\beta];$$

$$\varepsilon = 90 - \arcsin[(1+h/R_3) * \sin\beta] - \text{угол места ИРИ};$$

$$\gamma = \arcsin[(1+h/R_3) * \sin\beta] - \beta;$$

$$AB = [R_3^2 + (R_3 + h)^2 - 2 * R_3 * (R_3 + h) * \cos\gamma].$$

Следует отметить, что точность определения широты местонахождения ИРИ по этому методу будет зависеть от того, насколько форма диаграммы направленности АФАР будет учитывать кривизну сечений Земли по параллелям на широтах области радиомониторинга (ОРМ). Известны максимальная широта $55,41^\circ$ и минимальная широта $40,65^\circ$ контрольных точек территории Казахстана. Расчеты показывают, что среднее значение кривизны сечений Земли на этих широтах равно $2,42 * 10^{-4}$ 1/км. Это значение кривизны должно быть учтено при конструировании АФАР [4].

Рассмотрим способ определения второй координаты местонахождения ИРИ (долготы). Способ иллюстрируется на рисунке 2 (вид по оси Z).

Долгота МКА в момент появления сигнала от ИРИ обозначена через θ (это значение также известно благодаря координатной привязке навигационной системы ГЛОНАСС). Луч второй АФАР сканирует в ортогональном направлении относительно первой, причем угол относительно нормали изменяется от отрицательного значения (направление на запад) до положительного (направление на восток) по линейному закону (этот угол в момент появления сигнала обозначен через μ).

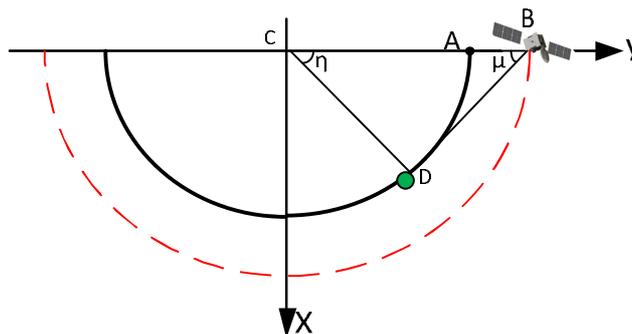


Рис. 2. Определение долготы местонахождения ИРИ

Угол поправки на долготу ИРИ η можно определить следующим образом:

$$\eta = \arcsin[(1 + h/R_3) \cdot \cos\alpha \cdot \sin\mu / \cos\varphi] - \mu.$$

Тогда долгота местонахождения ИРИ будет определяться:

$$\lambda = \theta \pm \{ \arcsin[(1 + h/R_3) \cdot \cos\alpha \cdot \sin\mu / \cos\varphi] - \mu \}.$$

Таким образом, применение космических аппаратов в системах радиомониторинга позволит определять параметры сигналов и местоположение ИРИ на большой территории, что позволит повысить эффективность существующих наземных систем радиоконтроля.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку АФАР с требуемыми характеристиками и повышение надежности обнаружения и распознавания радиосигналов ИРИ на фоне помех.

Библиографический список

1. Справочник по радиоконтролю.-Женева, МСЭ.-2011.
2. Айтмагамбетов А.З., Бугузов Ю.А., Кулакаева А.Е., Сатеров Н.М. Вопросы анализа сигналов и опознавания передатчиков при спутниковом радиомониторинге. - Вестник КазАТК. –Алматы, 2015.- №5-6(95.-с.49-51.
3. Под ред. Воскресенского Д.И. Активные фазированные антенные решетки /-М.Радиотехника, 2004, -488 с.
4. Aitmagambetov A.Z., Butuzov Yu.A., Kulakayeva A.E. Mathematical models for determining the location of radio emission sources in radio monitoring systems on the basis on low-orbit satellites. T-Comm. 2016. Vol. 10. No.1, pp. 73-76.
5. Рекомендация МСЭ-R P.618-10 Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования систем связи Земля-космос.
- 6) Вознюк В.В., Зайцев С.А., Толстоухов Д.А., Булаев О.А., Гусаков Н.В. Определение времени задержки приема сигнала пространственно разнесенными сверхмалыми космическими аппаратами. – Изв. Вузов Приборостроение, 2008, т. 61, №3.
7. Регламент радиосвязи.-Женева, МСЭ, 2012.
8. Рекомендация МСЭ-R SM.1682-1 Методы измерений сигналов цифрового радиовещания.

9. Таблица распределения полос частот между радиослужбами Республики Казахстан в диапазоне частот от 3 кГц до 400 ГГц для радиоэлектронных средств всех назначений.

10. Липатников В.А., Царик О.В. Методы радиоконтроля. Теория и практика: Монография/–СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», 2018. – 698 с.

11. Айтмагамбетов А.З., Бутузов Ю.А., Кулакаева А.Е. Способ определения координат источника радиоизлучения с помощью одного космического аппарата. Авторское свидетельство о депонировании интеллектуальной собственности. Регистрационный №002688 от 03 марта 2016 г.

УДК 004.415.2: 004.832.34

МОДЕЛЬ АТТЕСТАЦИИ УРОВНЕЙ ЗРЕЛОСТИ ПРОЦЕССОВ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

А.И. Таганов, С.П. Захаров, В.А. Балакин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, alxtag@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются методика анализа и аттестации уровней зрелости процессов жизненного цикла разработки программного обеспечения космических бортовых комплексов в условиях нечеткости.

Ключевые слова: аттестация, зрелость процесса, программное обеспечение, риск, модель.

THE ASSESSMENT MODEL MATURITY LEVELS PROCESSES OF SOFTWARE DEVELOPMENT AIRBORNE SYSTEMS

A.I. Taganov, S.P. Zakharov, V.A. Balakin

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russian Federation, Ryazan, alxtag@yandex.ru*

Annotation. The paper deals with the method of analysis and certification of maturity levels of the processes of the software development life cycle of space onboard systems under fuzzy conditions.

Keywords: certification, process maturity, software, risk, model

Введение

Известные положения ряда государственных стандартов и открытых публикаций [1-12, 14] однозначно констатируют, что эффективность и качество функционирования космических бортовых комплексов (КБК) в существенной мере зависят от характеристик качества программного обеспечения (ПО), которое используется для автоматизации решения задач управления и обработки данных на наземных и бортовых комплексах. В свою очередь на практике доказано, что качество программных изделий в значительной степени зависит от качества и уровня зрелости процессов программной инженерии, которые реализованы и используются на предприятиях, разрабатывающих программные комплексы.

Для поддержания предприятия на должном уровне зрелости своих рабочих процессов необходимо организовать и ввести в действие специальный процесс, ориентированный на аттестацию и усовершенствование рабочих процессов программной инженерии предприятия. Такой процесс должен соответствовать современной методологии аттестации уровней зрелости процессов программной инженерии, а также основываться на современной методологии усовершенствования этих процессов [3-6, 14] (см. рисунок 1).



Рис. 1. Области процесса оценки и аттестации зрелости процессов

В качестве методологической основы для построения современной методики аттестации уровней зрелости процессов предлагается использовать унифицированные процедуры аттестации процессов жизненного цикла (ЖЦ) ПО согласно [3]. При построении этой методики аттестации также использовать автоматизированные средства поддержки принятия проектных решений по идентификации и анализу проектных рисков в условиях нечеткости проектных данных [1, 3, 9, 14]. На практике это расширяет сферу применения формализованных процедур аттестации процессов ЖЦ ПО в проектных организациях космической отрасли и позволяет организациям самим проводить оценку зрелости своих рабочих процессов и зрелости процессов внешних производителей и поставщиков ПО (рисунок 2).



Рис. 2. Контекст аттестации зрелости процессов

1. Модели представления уровней зрелости анализируемых процессов

Область определения задачи, связанной с определением уровней зрелости процессов программного проекта в условиях нечеткости, можно представить кортежем [3, 14]:

$MZ1 = \langle \text{ЭМ}, MSZ, MAZ, D \rangle$, где: ЭМ - эталонная модель процессов ЖЦ программного проекта; MSZ - модель целевой зрелости процессов ЖЦ проекта; MAZ - модель аттестованной зрелости процессов ЖЦ проекта; D - набор алгоритмов для решения задачи аттестации.

В свою очередь ЭМ может быть определена как [3, 14]:

$\text{ЭМ} = \langle \text{MIP}, \text{MIZ} \rangle$, где: MIP - модель процедуры «Измерение процесс»; MIZ - модель процедуры «Измерение зрелость».

Аналогично модель процедуры MIP описывается кортежем:

$\text{MIP} = \langle \text{KP}, \text{PR}, f_p \rangle$, где: $\text{KP} = \langle \text{CUS}, \text{ENG}, \text{SUP}, \text{MAN}, \text{ORG} \rangle$ - множество категорий процессов, которые указаны в международном стандарте [3], здесь: CUS - категория процессов потребитель-поставщик; ENG - категория инженерных процессов; SUP - категория вспомогательных процессов; MAN - категория управленческих процессов; ORG - категория организационных процессов; $\text{PR} = (PR_1, PR_2, \dots, PR_n)$ - множество процессов ЖЦ ПО, регламентированных в [3]; f_p - заданное отображение $\text{PR} = (PR_1, PR_2, \dots, PR_n)$ в KP.

1.1. Модель процедуры «Измерение зрелость»

В свою очередь модель «Измерение зрелость» содержит элементы [3, 14]:

$\text{MIP} = \langle \text{MU}, \text{PA}(\text{MU}), \text{MR}, f_{\text{AR}} \rangle$, где MU - модель уровней зрелости процессов; PA(MU) - модель атрибутов процесса; MR - модель рейтингов атрибутов; f_{AR} - отображение PA(MU) в MR.

$\text{MU} = (U_0, U_1, U_2, U_3, U_4, U_5)$ - модель уровней зрелости процессов содержащая элементы: U_0 - Уровень 0 «Неполный», согласно которому рабочий процесс не соответствует своему назначению.

U_1 - Уровень «Выполняемый», согласно которому рабочий процесс в целом соответствует своему назначению.

U_2 - Уровень 2 «Управляемый», когда рабочий процесс дает рабочие продукты в соответствии с определенными процедурами, а также планируется и отслеживается.

U_3 - Уровень 3 «Устоявшийся», когда рабочий процесс осуществляется и управляется с использованием определенного процесса на основе надлежащих принципов разработки программных средств.

U_4 - Уровень 4 «Предсказуемый», при котором заданный процесс на практике осуществляется в предписанных рамках для достижения определенных целей процесса.

U_5 - Уровень 5 «Оптимизируемый», когда производительность процесса оптимизируется для соответствия текущим и будущим бизнес-потребностям, и процесс регулярно достигает определенной для него бизнес-цели.

1.2. Модель атрибутов процесса аттестации

Модель атрибутов процесса может быть представлена как:

$\text{PA}(\text{MU}) = (\text{PA1.1}, \text{PA1.2}, \text{PA2.1}, \text{PA2.2}, \text{PA3.1}, \text{PA3.2}, \text{PA4.1}, \text{PA4.2}, \text{PA5.1}, \text{PA5.2})$, где:

- PA1.1 и PA1.2 - атрибуты «Выполнение процесса» и «Управление выполнением» соответственно, характерные только для Уровня 1;

- PA2.1 и PA2.2 - атрибуты «Управление выполнением» и «Управление рабочими продуктами», характерные только для Уровня 2;
- PA3.1 и PA3.2 - атрибуты «Задание процесса» и «Обеспечение процесса ресурсами» соответственно, характерные только для Уровня 3;
- PA4.1 и PA4.2 - атрибуты «Измерение» и «Количественное управление процессом» соответственно, характерные только для Уровня 4;
- PA5.1 и PA5.2 - атрибуты «Измерение процесса» и «Непрерывное усовершенствование» соответственно, характерные только для Уровня 5.

1.3. Модель рейтингов атрибутов процессов

Модель рейтингов атрибутов должна отражать шкалу рейтингов для выполнения оценки «Степень обладания атрибутом процессом»:

$MR = (N, P, L, F)$, где параметры: N - характеризует степень «Процесс не обладает атрибутом», если степень обладания от 0% до 15%; P - характеризует степень «Процесс не обладает атрибутом частично», если степень обладания от 16% до 50%; L - характеризует степень «Процесс не обладает атрибутом в основном», если степень обладания от 51% до 85%; F - характеризует степень «Процесс обладает атрибутом полностью», если степень обладания от 86% до 100%.

1.4. Модель целевой зрелости процессов программного проекта

По своей структуре модель целевой зрелости процессов ЖЦ ПО совпадает с эталонной моделью [3, 14]. Отличие заключается в том, что эта модель содержит не полный перечень процессов, а включает только подмножество процессов для выполнения конкретного проекта и представляется в виде таблицы 1.

Таблица 1. – Модель целевой зрелости процессов программного проекта

Ключевые процессы проекта	Целевые атрибуты процессов проекта	Требуемые рейтинги атрибутов процессов проекта
$PR^* \in PR$	$PA^* \in PA(MU)$	f^*_{AR}
...
...
...

1.5. Модель аттестованной зрелости процессов ЖЦ ПО

Структурное построение MAZ - модели аттестованной зрелости процессов ЖЦ проекта аналогично построению структуры модели целевой зрелости [3, 14]. Отличие заключается в отображении f^{**}_{AR} , которое формируется экспертным способом на основе доступной информации по анализируемым и аттестуемым процессам проекта (таблица 2).

Таблица 2. Модель аттестованной зрелости процессов ЖЦ

Ключевые процессы проекта	Целевые атрибуты процессов проекта	Аттестованные рейтинги атрибутов процессов проекта
$PR^* \in PR$	$PA^* \in PA(MU)$	f^{**}_{AR}
...
...
...

2. Модель интегрального риска процессов программного проекта

Используемый в работе подход к определению интегрального риска процессов программного проекта основывается на представлении всей сети взаимосвязанных процессов программного проекта в виде модели нечеткого вероятностного графа [13-17]. Свертывание дуг и вершин этого графа до одной взвешенной дуги выполняется набором разработанных алгоритмов [14, 15]. В этом наборе присутствует алгоритм удаления в нечетком вероятностном графе вершин без петли, алгоритм объединения параллельных дуг и алгоритм удаления дуги-петли. В итоге преобразования вес дуги свернутого нечеткого вероятностного графа отражает величину интегрального риска процессов программного проекта.

Заключение

Формализованный подход к анализу и аттестации уровня зрелости рабочих процессов предприятия или программного проекта с применением инструментальных средств поддержки принятия проектных решений имеет преимущества по меньшей трудоемкости экспертных работ по сравнению с ручной методикой оценки и аттестации зрелости процессов проектной организации, выполняемой по стандарту ISO/IEC TR 15504 Technical Report. «Information technology – Software process assessment. Part 1–9». Формализованный процесс аттестации становится более открытым, общедоступным подходом к широкому применению в практике и приводит к общему пониманию необходимости использования аттестации для усовершенствования и оценки зрелости процессов.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 17666-2006 Менеджмент риска. Космические системы.
2. ГОСТ Р 56523-2015 Системы и комплексы космические. программа обеспечения безопасности эксплуатации. общие требования.
3. ISO/IEC TR 15504 Technical Report. «Information technology – Software process assessment. Part 1–9».
4. ISO 9001:2000 «Quality management systems – Requirements» (Системы административного управления качеством. Требования).
5. ISO 9004:2000 «Quality management systems – Guidelines for performance improvement» (Системы административного управления качеством. Руководящие указания по усовершенствованию).
6. ISO/IEC TR 10006:1997 «Quality management – Guidelines to quality in project management» (Административное управление качеством. Руководящие указания по качеству при административном управлении проектами);
7. ISO/IEC TR 10007:1997 «Quality management – Guidelines for configuration management» (Административное управление качеством. Руководящие указания административного управления конфигурацией).
8. ISO/IEC TR 16326:1999 «Software engineering – Guide for the application of ISO/IEC 12207 to project management» (Программная инженерия. Руководство по приложению ИСО/МЭК 12207 к административному управлению проектами).

9. ISO/IEC TR 15271:1998 «Information technology – Guide for ISO/IEC 12207 (Software Life Cycle Processes)» (Информационная технология. Руководство по применению ИСО/МЭК 12207).
10. ISO/IEC TR 15846:1998 «Information technology – Software life cycle processes – Configuration management» (Информационная технология. Процессы жизненного цикла программных средств. Управление конфигурацией);
11. ISO/IEC 12119:1994 «Information technology – Software packages – Quality requirements and testing» (Информационная технология. Пакеты программных средств. Требование к качеству и тестирование).
12. ISO/IEC 9126:1991 «Information technology – Software product evaluation – Quality characteristics and guidelines for their use» (Информационная технология. Оценка программного продукта. Характеристики качества и руководящие указания по их применению).
13. Таганов А.И., Гильман Д.В., Псоянц В.Г. Методика аттестации уровней зрелости процессов программного проекта в условиях нечеткости // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2013. № 46-1. С. 85-92.
14. Таганов А.И., Гильман Д.В. Методологические основы анализа и аттестации уровней зрелости процессов программных проектов в условиях нечеткости. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. 168 с.
15. Таганов А.И., Гильман Д.В. Алгоритмы определения рейтинга процессов на основе формализмов нечетких множеств и нечетких графов // Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, 31 января 2013 г.: в 13 частях. 2013. С. 138-140.
16. Таганов А.И., Таганов Р.А. Методологические основы методов идентификации рисков событий проекта // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. 2003. № 12. С. 70–77.
17. Корячко В.П., Таганов А.И., Таганов Р.А. Программный метод управления рисками качества проекта информационной системы // Известия Белорусской инженерной академии. 2004. № 1 (17). С. 168-169.

УДК 629.784; ГРНТИ 49.43.31

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ МОДУЛЯЦИИ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ С БОРТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А.В. Балдин*, Н.С. Балдина, В.А. Новиков***

**ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева,*

Российская Федерация, Королев, baldin.al.v@yandex.ru,

***АО «Корпорация «Тактическое Ракетное Вооружение»,*

Российская Федерация, Королев, Novikov.v.a.48@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматриваются достоинства и недостатки методов модуляции речевой информации, удовлетворяющих особенностям всех участков полета космического аппарата во время экспедиции на международную космическую станцию. Разработан метод передачи речевой информации на Землю, при нахождении космического аппарата, вне зоны прямой радиовидимости наземных измерительных пунктов.

Ключевые слова: амплитудная модуляция (АМ), частотная модуляция (ЧМ), частотная телеграфия (ЧТ), двоичная фазовая манипуляция (ФМн-2 или BPSK), линейное предсказание с мультикодовым управлением (алгоритм CELP).

OPTIMIZATION OF METHODS OF VARIABLE INFORMATION MODULATION ON BOARD SPACE APPARATUS

A.V. Baldin *, N.S. Baldina **, V.A. Novikov *

** RSC Energia PJSC S.P. Queen,*

Russian Federation, Korolev, baldin.al.v@yandex.ru,

*** JSC Tactical Missile Weapons Corporation,*

Russian Federation, Korolev, Novikov.v.a.48@yandex.ru

Annotation. The paper discusses the advantages and disadvantages of methods for modulating speech information that satisfies the features of all flight segments of a spacecraft during an expedition to an international space station. A method has been developed for transmitting speech information to the Earth, when a spacecraft is located, outside the zone of direct visibility of ground-based measurement stations.

Keywords: amplitude modulation (AM), frequency modulation (FM), frequency telegraphy (CW), binary phase shift keying (FMN-2 or BPSK), multi-code linear prediction (CELP algorithm).

Полет космического корабля (КК) до Международной космической станции (МКС) и обратный путь на Землю делится на несколько этапов. Во время полета, между экипажем КК и Центром управления полетами (ЦУП) необходимо обеспечить надежную постоянную двустороннюю связь в целях полного контроля и управления за сложившейся ситуацией на борту.

Используемые современные системы связи на КК имеют следующие недостатки: отсутствие возможности замены вышедших из строя электрорадиоизделий (ЭРИ), одновременное применение нескольких средств связи на разных участках полета, также при изготовлении оборудования необходимо полностью удовлетворять требованиям Постановления Правительства РФ от 11.08.2014 № 791 «Об установлении запрета на допуск товаров легкой промышленности, происходящих из иностранных государств, в целях осуществления закупок для обеспечения федеральных нужд».

С учетом вышесказанного целью работы «Оптимизация методов модуляции речевой информации с борта космического аппарата» является разработка Блока связи (БС), устанавливаемого на транспортных пилотируемых кораблях для обеспечения связи членов экипажа космического корабля с (ЦУП) с использованием наземных измерительных пунктов (НИП) на старте, активном участке полета, орбите искусственного спутника Земли (ОИСЗ) и со средствами поисково-спасательного комплекса (ПСК) во время спуска и после посадки, а также излучения сигналов радиомаяков в УКВ диапазоне [1].

Обеспечение связи в режиме ЧМ

БС для обеспечения связи использует такие виды модуляции как: ЧМ, АМ, ЧТ, BPSQ.

Блок связи обеспечивает в режиме ЧМ: на стартовом комплексе, активном участке, в орбитальном полете и на начальном участке спуска:

- дуплексную радиотелефонную связь в УКВ диапазоне с бункером командного пункта (на стартовом комплексе и активном участке полета);
- дуплексную радиотелефонную связь в УКВ диапазоне с ЦУП на этапе орбитального полета и на начальном этапе спуска с использованием наземных измерительных пунктов оснащенных соответствующей аппаратурой в зоне их прямой радиовидимости при высоте орбиты до 500 километров, наклонной дальности до 2000 км и углу места более 7 градусов;
- дуплексную радиотелефонную связь с орбитальными комплексами, оборудованными радиосредствами УКВ диапазона на этапе орбитального полета;
- дуплексную радиотелефонную связь с другими пилотируемыми кораблями, оборудованными аналогичным блоком связи во время орбитального полета [2].

Межбортовая радиосвязь в УКВ диапазоне должна осуществляться с использованием ненаправленных антенных систем и при благоприятных условиях взаимной ориентации объектов дальность связи может начинаться от 200 километров до момента стыковки и сближения [1,2].

Обеспечение цифровой связи и использованием BPSQ-модуляции

Во время двухсуточного полета к Международной космической станции КА выходит на сеанс связи с ЦУП около 8 раз, находясь в зоне прямой видимости НИП. На время сеансов связь обеспечивается аналоговой передачей информации через блок связи в режиме ЧМ.

Для обеспечения двухсторонней связи с Землей при отсутствии КА в зоне прямой видимости НИП предлагается использовать радиоканалы комплексной радиосистемы (КРС). При этом необходимо обеспечить обмен аналоговой телефонной речевой информацией БС с комплексной радиосистемой и речевой информацией в цифровом виде на скорости

преобразования 16кбит/с через речепреобразующее устройство (РПУ) с использованием алгоритма CELP.

КРС устанавливается на МКС в составе ее модулей, транспортных пилотируемых и грузовых кораблях, низкоорбитальных автоматических космических аппаратах, в том числе систем дистанционного зондирования Земли, высокоорбитальных автоматических космических аппаратах систем связи, навигации и мониторинга Земли, малых космических аппаратах.

Комплексная радиосистема выполняет огромную функцию по управлению КА, контролю, формированию, приема и передачи телеметрической информации по большому количеству радиоканалов.

Для обеспечения двухсторонней связи с Землей при отсутствии КА в зоне прямой видимости НИП КРС берет на себя функцию приема и передачи цифровой информации (голосовой информации) (рисунок 1). Оцифрованная речепреобразующим устройством информация поступает в КРС от БС. Далее КРС, используя специально отведенный радиоканал под голосовую информацию, обеспечивает двухстороннюю связь БС с наземными командно-измерительными пунктами и ЦУП не только непосредственно по радиолиниям «Земля - изделие ракетно-космической техники - Земля», но и через спутники-ретрансляторы (СР), устанавливаемые на геостационарной орбите. Для передачи и приема голосовой информации КРС использует ФМн-2 манипуляцию (BPSK) [3,2].

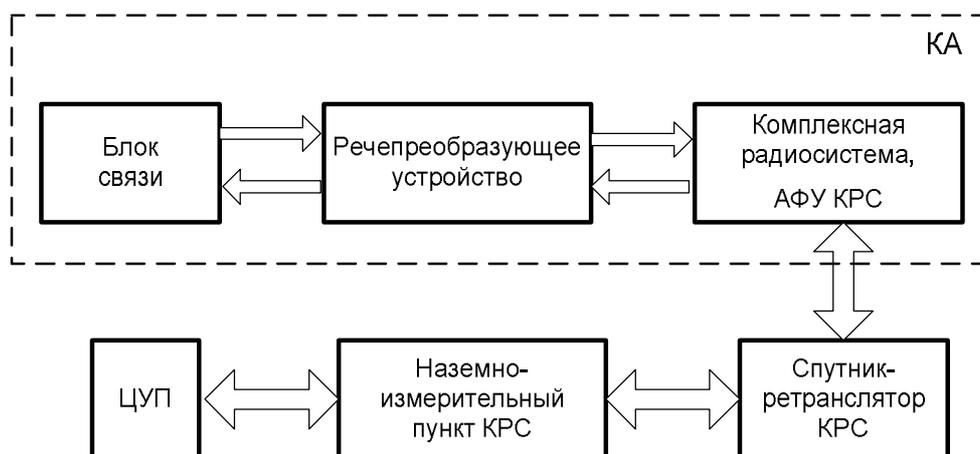


Рис. 1. Блок-схема обеспечения цифровой связи через отведенный канал связи КРС

Достоинства и недостатки ФМн-2 (BPSK)

Достоинства:

- простота реализации модуляторов и демодуляторов;
- при одинаковой с другими видами цифровой модуляции (манипуляции) энергетической затрате обеспечивается наиболее высокая помехоустойчивость;
- является оптимальным видом манипуляции с точки зрения ее реализации на ПЛИС или микроконтроллерах;
- простота формирования и обработки, а также анализа и синтеза кодовых последовательностей;
- высокая разрешающая способность по дальности (по времени) и скорости (по частоте), но для этого требуется длинная кодовая последовательность;
- форма функции неопределенности сложных ФМн-2 сигналов близка к кнопочному виду.

Недостатки:

- возникновение инверсии символов при некогерентном приеме на этапе декодирования. Для устранения инверсии символов необходимо применять относительную (дифференциальную) двоичную фазовую манипуляцию (DBPSK) или вводить маркер для устранения инверсии при использовании BPSK;
- по сравнению с QPSK скорость передачи в 2 раза меньше при равном энергетическом использовании [4].

Обеспечение проводной связи

После состыковки КА с Международной космической станцией БС по команде включения межбортовой связи обеспечивает внутри МКС:

- проводную телефонную связь между космическими объектами, находящимися в общей с космическим кораблем связке;
- запись информации всех переговоров на систему записи информации и при необходимости ее воспроизведение;
- внутреннюю телефонную связь между членами экипажа корабля [3].

Оптимизация ЧТ при излучении сигналов радиомаяков КА посредством ЧМ

Ввиду исключения телефонно-телеграфных средств связи из состава КА и исключения режима ЧТ в блоке связи предусмотрено формирование импульсной последовательности тональных посылок и их передача в режиме ЧМ.

На этапах спуска (от команды «Разделение»), парашютирования (до команды «Касание») и после посадки в целях идентификации спускаемого аппарата (СА) и ближнего привода поисково-спасательного комплекса предусмотрена передача следующих сигналов радиомаяков с отличительной окраской принятой для БС СА:

- после «Разделения» в УКВ диапазоне на частоте 121,75 МГц излучаются импульсные последовательности тональных посылки букв «АН» кодом Морзе;
- после приземления (по команде «Касание») изменяется сигнал УКВ радиомаяка. Вместо тональных посылок букв «АН» излучаются посылки типа «Крик чайки» [2-4].

Обеспечение связи в режиме АМ

На завершающем участке спуска при парашютировании и после посадки для обеспечения работы со средствами ПСК передающее и приемное устройства из состава БС переключаются в режим АМ, кроме того передатчик переключается на частоту 121,5 МГц.

Для ведения связи на этих участках полета космонавту достаточно нажать тангенту (ТНГ) на любом рабочем месте СА, при этом прекращается излучение сигналов идентификации объекта и обеспечивается передача речевой информации.

Дальность УКВ радиотелефонной связи и определение ближнего пеленга спускаемого аппарата на частоте 121,5 МГц в режиме АМ при взаимодействии с самолетной аппаратурой средств поисково-спасательного комплекса возможна на расстоянии не более 150 километров.

Выводы

Блок связи, является универсальным средством для ведения связи с борта космического аппарата с ЦУП на всех участках полета ТПК.

1. На стартовом комплексе, активном участке, и начальном этапе спуска применение

ЧМ позволяет вести стойкую к шумам связь с улучшенным отношением сигнал/шум с ЦУП и командным бункером, использовать эффективное перераспределение 2/3 мощности несущего сигнала в информационный.

2. В орбитальном полете применение ЧМ позволяет вести связь в зоне прямой радиовидимости НИП при высоте орбиты до 500 километров, наклонной дальности до 2000 км и углу места более 7 градусов.

3. На этапе орбитального полета в момент отсутствия КА в зоне прямой радиовидимости НИП возможно обеспечить связь через специально отведенный цифровой канал связи комплексной радиосистемы в режиме ФМн-2 (BPSK). Для этого речепреобразующее устройство по алгоритму CELP кодирует речевой сигнал, поступающий из БС, в дискретную форму.

- Алгоритм кодирования CELP занимает промежуточное положение между кодерами формы сигнала, в которых сохраняется форма колебания речевого сигнала в процессе его дискретизации и квантования, и параметрическими вокодерами, основанными на процедурах оценки и кодирования небольшого числа параметров речи, объединяя преимущества каждого из них.

4. Кодированный ФМн-2 сигнал может быть передан в ЦУП либо через спутник - ретранслятор либо через НИП КРС, оборудованный цифровым приемопередатчиком.

ФМн-2 (BPSK) имеет следующие преимущества:

- при одинаковой с другими видами цифровой модуляции (манипуляции) энергетической затрате обеспечивается наиболее высокая помехоустойчивость;

- является оптимальным видом манипуляции с точки зрения ее реализации на ПЛИС или микроконтроллерах;

- простота формирования и обработки, а также анализа и синтеза кодовых последовательностей;

- сигналы с фазовой модуляцией дают двукратный выигрыш по мощности по сравнению с частотной модуляцией;

- форма функции неопределенности сложных ФМн-2 сигналов близка к кнопочному виду.

5. Дальность УКВ связи средствами ПСК на завершающем участке спуска при парашютировании и после посадки на частоте 121,5 МГц в режиме АМ при взаимодействии с самолетной аппаратурой средств поисково-спасательного комплекса возможна на расстоянии не более 150 километров.

6. Ввиду исключения телефонно-телеграфных средств связи из состава КА и исключения режима ЧТ, в блоке связи предусмотрено формирование импульсной последовательности идентификационных тональных посылок и их передача в режиме ЧМ на частоте 121,75 МГц: буквы «АН» кодом Морзе и посылки типа «Крик чайки» на этапах «Разделение» и «Касание» соответственно.

Преимущества передачи тональных посылок:

- передача сигнала тревоги и бедствия предназначена для автоматического приема, но может быть принята и на слух на обычный радиоприемник;

- большая помехоустойчивость приема в условиях сильных помех.

Библиографический список

1. В.А. Соловьев, Л.Н. Лысенко, В.Е. Любинский. Управление космическими полетами: учеб. пособие: в 2 ч./ под общ. Ред. Л.Н. Лысенко. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана 2009г. 476 стр.

2. Реализация прямой цифровой модуляции/демодуляции BPSK-сигналов Режим доступа: <http://www.tkea.com.ua/siet/archive/2013-t1/258.pdf> Дата обращения: 15.11.18

3. Транспортные корабли, доставляющие грузы на МКС [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cargolink.ru/ls/blog/1497.html> Дата обращения: 02.11.18.
4. «Космонавтика», энциклопедия, М.: Советская энциклопедия, 1995, 528 с.

УДК 004.932.4; ГРНТИ 89.57.45

АЛГОРИТМ СУБПИКСЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЧЕРЕЗ ОДНОМЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ

Д.В. Фетисов, А.Н. Колесенков

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, morzitko@gmail.com, sk62@mail.ru*

Аннотация. В работе рассмотрены методы повышения разрешения изображений, полученных средствами аэрофотосъемки. Также представлены методы субпиксельной обработки данных через одномерное и двумерное сканирование. Разработан алгоритм субпиксельной обработки цифровых изображений через одномерное сканирование на основе пространственных сдвигов нескольких изображений низкого разрешения для получения одного результирующего изображения высокого разрешения через нахождение значений новых пикселей. Также указаны преимущества и недостатки разработанного алгоритма и приведены направления для дальнейших исследований.

Ключевые слова. Изображение, снимок, сканирование, алгоритм, субпиксельная обработка, разрешение.

SUBPIXEL PROCESSING ALGORITHM OF DIGITAL IMAGES THROUGH ONE-DIMENSIONAL SCANNING

D.V. Fetisov, A.N. Kolesenkov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, morzitko@gmail.com, sk62@mail.ru*

Abstract. In the paper methods for increasing the resolution of images obtained by tools of aerial photography are considered. Subpixel data processing methods are also presented through one-dimensional and two-dimensional scanning. An algorithm for subpixel processing of digital images through a one-dimensional scanning based on the spatial shifts of several low-resolution images to obtain a single high-resolution resulting image through finding the values of new pixels has been developed. The advantages and disadvantages of the developed algorithm are also indicated, and directions for further research are given.

Keywords. Image, picture, scanning, algorithm, sub-pixel processing, resolution.

1. Введение

На сегодняшний день широкое распространение получили технологии, которые связаны с применением высококачественных цифровых изображений. Они используются в медицине, образовании, промышленности, космических исследованиях. Подобные науки и дисциплины, занимающиеся вопросами обработки изображений с низким разрешением, приобрели особую актуальность в настоящее время. Ранее основные разработки преимущественно проводились зарубежными учеными, однако российские исследования в последние годы также стали активно развиваться в данном направлении.

Алгоритмы и методы повышения качества цифровых изображений и снимков, полученных с помощью аэрофотосъемки, условно можно разделить на три группы: нелинейные методы, линейные методы, методы суперразрешения [2]. Но несмотря на большое внимание, уделенное данным методам, в современной научной литературе и на стремительное развитие данной тематики, связанной с цифровой обработкой изображений, необходимо постоянно проводить анализ существующих, а также новых усовершенствованных методов повышения разрешения изображений [1].

В связи с этим цель данной работы состоит в изучении процесса улучшения качества

цифровых изображений современными методами обработки, их анализ, а также выбор оптимального метода для применения к снимкам, полученным со спутников для проведения дальнейших исследований в рамках дистанционного зондирования Земли. В настоящей работе предложен один из алгоритмов субпиксельной обработки через одномерное сканирование, позволяющий повысить пространственное разрешение изображения, не затрагивая разрешающей способности цифровых камер.

2. Методы повышения разрешения цифровых изображений

В настоящее время все методы улучшения качества цифровых изображений можно разделить на линейные, нелинейные и суперразрешение. К первым методам (линейным) относится процедура интерполяции, являющейся самым простейшим способом повышения разрешения. При данном подходе интерполяция снимка представляется в виде функции, а пиксели – в виде точек, причем значения интерполирующей функции в них заранее известны. Под интерполяцией понимается процесс нахождения промежуточных значений относительно уже известных значений, составляющих дискретный набор, поэтому процедура интерполирования никогда не позволит точно восстановить информацию.

Методы интерполяции, непосредственно, основаны на применении свертки изображения и ядер различных типов. Простейшим и самым быстрым линейным методом, основанным на процедуре интерполяции, является метод «ближайшего соседа», заключающийся в растяжении пикселей. Например, данное растяжение будет реализовано через дублирование пикселей изображения, если при ресамплинге используется целый коэффициент увеличения. Главным недостатком применения методов интерполяции является явно выраженный эффект ступенчатости.

Ко второй группе методов повышения разрешения изображений относятся нелинейные методы. Они позволяют избавиться от недостатков методов первой группы путем применения адаптивных методов. В них ядро задается пикселями, независимых друг от друга. Примером нелинейных методов могут служить градиентные алгоритмы, которые позволяют достигнуть более качественных результатов при интерполяции относительно границ частей снимка. Здесь используются разные ядра поперек и вдоль контуров изображения (например, применяется функция Гаусса с переменными радиусами разных направлений). Благодаря интерполированию границ, результат получается достаточно схожим с результатами бикубической интерполяции, однако эффект наложения оказывается почти полностью подавленным.

Суперразрешение составляет третью группу методов повышения качества изображения. Под суперразрешением понимают построение изображения очень высокого разрешения по нескольким изображениям низкого разрешения, слабо отличающихся друг от друга. Главная идея заключается в применении субпиксельных сдвигов снимков исследуемого объекта для разных комбинаций информации с нескольких изображений. Полученных в результате аэрофотосъемки. Обычно в литературе для восстановления изображения высокого разрешения путем субпиксельной обработки сдвинутых снимков низкого разрешения употребляют термин «сканирование» [3]. При этом пиксели имеют конечный размер, их сигналы соответствуют усредненным значениям некоторой окрестности точки, а не значениям яркости объекта в определенной точке на исходном изображении. Смещая снимки на долю или часть пикселя, усреднение производится в разных кадрах по разным окрестностям.

Так на рисунке 1 упрощенно изображен процесс улучшения качества в случае с использованием четырех снимков, которые сдвинуты на половину пикселя по двум

направлениям (вертикали и горизонтали). Для нахождения значений пикселей результирующего изображения высокого разрешения требуются данные о значениях точек на граничной области, захватываемой кадром низкого разрешения при его сдвиге относительно исходного положения.

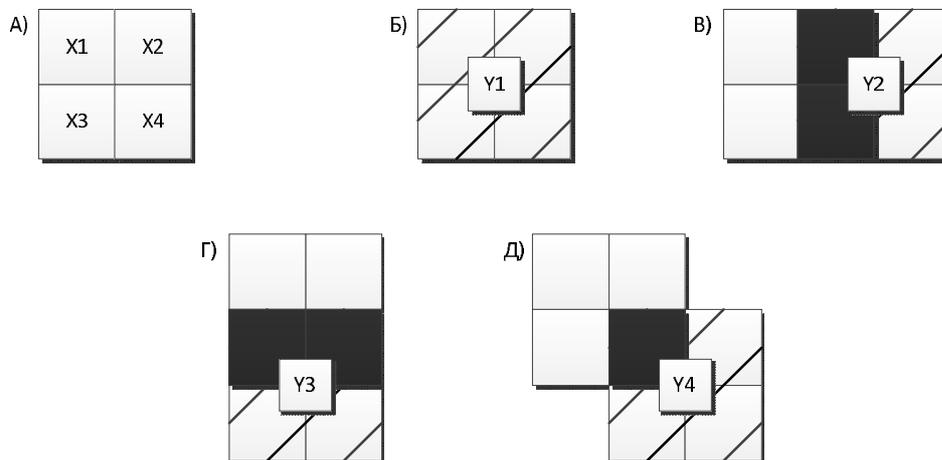


Рис. 1. Варианты метода суперразрешения:

(А) изображение высокого разрешения, состоящее из четырех пикселей X_i , где i – номер пикселя;
 (Б) - (Д) снимки низкого разрешения, состоящие из одного пикселя, полученные при субпиксельном сдвиге камеры в разных направлениях.

Пиксель изображения низкого разрешения обозначен как Y_j , где j – номер кадра при сканировании

Методы суперразрешения также делятся на два типа: методы, основанные на обучении, и методы, основанные на восстановлении изображения [3]. Первые методы используют один снимок низкого разрешения и обновляемую базу данных, вторые методы – несколько снимков низкого разрешения. Обучающие методы являются перспективными, но не являются универсальными, например. Невозможно их использовать для восстановления инфракрасных изображений.

Восстанавливающие методы для получения изображений высокого разрешения [5] можно разделить на две основные группы:

- алгоритмы, использующие одномерное сканирование;
- алгоритмы, использующие двумерное сканирование.

Особого внимания заслуживают методы одномерного сканирования, поскольку они не так сложны в реализации и быстро приводят к желаемому результату.

В целом, субпиксельная обработка как процедура получения суперразрешения, сводится к минимизации отклонения восстановленного изображения от изображения реального объекта.

3. Субпиксельная обработка изображений через одномерное сканирование

Исходными данными при одномерном субпиксельном сканировании являются изображения, полученные при фотосъемке и смещенные относительно друг друга на половину пикселя в горизонтальной (вправо/влево) или вертикальной (вверх/вниз) плоскости [4]. Тогда результирующее разрешение изображения будет иметь по строкам/столбцам $2n+1$ – пикселей, где n – количество строк/столбцов в исходном снимке [6]. Например, имеется два исходных изображения размером 3×3 . При совмещении снимков и их смещении на половину пикселя по вертикали получим результирующее изображение размером 7×3 . Причем первая строка нового изображения остается от первого исходного снимка, а последняя строка – от

второго исходного снимка, и значит улучшения в этих строках не происходит. Однако данная особенность является незначительной при обработке больших снимков.

На рисунке 2 представлена блок-схема алгоритма одномерного субпиксельного сканирования на основе двух снимков, полученных в результате аэрокосмической съемки и смещенных в вертикальном направлении относительно друг друга.

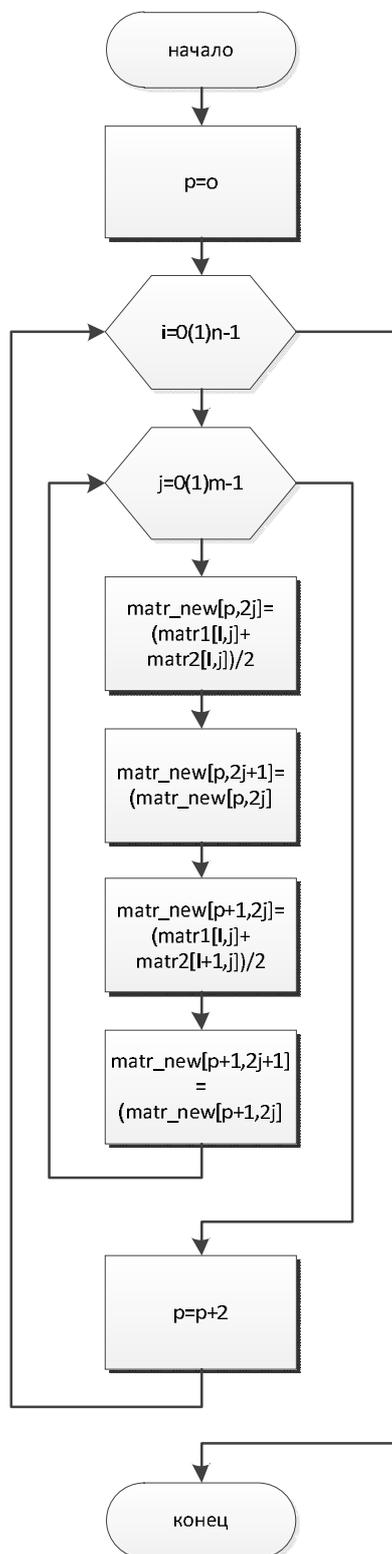


Рис. 2. Блок-схема алгоритма одномерного субпиксельного сканирования

В таблице представлены переменные, используемые в алгоритме.

Таблица. Переменные алгоритма одномерного субпиксельного сканирования

Переменная	Описание
matr1, matr2	Два исходных снимка, представленные в матричной форме
matr_new	Результирующее изображение, представленное в матричной форме
p	Вспомогательная переменная
i, j	Переменные циклов

Описанный выше алгоритм предполагает просмотр всех строк и столбцов снимков, но так как улучшение разрешения не происходит в первой и последней строках/столбцах, то иногда можно не включать в результирующее изображение. В данном случае количество строк/столбцов с $2n+1$ сокращается до $2n-1$. Алгоритм не предполагает дополнительной обработки первой и последней строк/столбцов, но первая строка необходима для выходного изображения. Поэтому количество строк/столбцов выходного снимка становится равным $2n$.

Данный способ улучшения разрешения снимков является быстрым и не требуется дополнительных ресурсов, однако он может уступать качеству снимков, полученных с помощью фотоаппаратов такого разрешения. Однако у него есть ряд преимуществ, которые заключаются в том, что:

- для получения изображения со сверхразрешением минимально требуется два снимка низкого разрешения;
- легкая настройка смещения объектива, поскольку оно производится в одном направлении;
- не требуется сложного математического аппарата;
- устойчивость к шуму и помехам.

Выводы

Таким образом, в работе рассмотрены три основные группы методов повышения разрешения изображений, из которых линейные и нелинейные методы не вносят новой информации в изображение, чего нельзя сказать про метод суперразрешения. В нем используются данные сразу нескольких снимков, что позволяет вносить больше информации в результирующее изображение высокого разрешения. Также были представлены методы субпиксельной обработки изображений, которые позволяют повысить качество цифрового изображения за счет пространственных сдвигов и получения новых пикселей. Подробно представлен алгоритм одномерного сканирования, который имеет свои достоинства и недостатки и может применяться при решении различных прикладных задач при дистанционном зондировании Земли. Необходимо отметить, что это только начальные исследования в области субпиксельной обработки аэрокосмических снимков, и имеется огромный потенциал для дальнейшего изучения данной области, в частности можно рассмотреть двумерное сканирование, повышение разрешения с помощью масок или методом восстановления цифровых изображений.

Библиографический список

1. Злобин В.К., Колесенков А.Н., Костров Б.В. Корреляционно-экстремальные методы совмещения аэрокосмических изображений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2011. No 37. С. 12-17.

2. Фетисов Д.В., Колесенков А.Н. Увеличение пространственного разрешения аэрокосмических снимков с использованием субпиксельной обработки // Сборник трудов международной научно-технической и научно-методической конференции «Современные технологии в науке и образовании». СТНО-2018 – Рязань, 2018г. – С.221-226.

3. Фетисов Д.В., Колесенков А.Н. Субпиксельная обработка аэрокосмических снимков при дистанционном мониторинге земли // Сборник научных трудов международной научно-технической конференции «Перспективные информационные технологии» – Самара, 2018г. – С. 220-223.

4. Фетисов Д.В., Колесенков А.Н. Субпиксельная обработка изображений как средство увеличения пространственного разрешения снимков // Материалы XXIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях», том 2 – Рязань, 2018г. – С. 390-391.

5. Блажевич С.В., Селютин Е.С. Повышение разрешения цифрового изображения с использованием субпиксельного сканирования // Журнал «Научные ведомости Белгородского государственного университета», серия: Математика. Физика – Белгород, 2014 г. – С. 186 – 190.

6. Козлов В.Л., Васильчук А.С. Субпиксельная обработка изображений для измерения дальности на основе цифровой фотокамеры // Журнал «Приборы и методы измерений» – Беларусь, 2012 г. – С. 115-120.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

А.В. Курагин, А.Н. Колесенков

*Рязанский государственный радиотехнический университет
Россия, Рязань, krgn2003@mail.ru,*

Аннотация. В работе рассматриваются аспекты экологического мониторинга в мире и России. Раскрывается актуальность использования геоинформационных систем в экологическом мониторинге, а также пути его развития в ближайшие годы.

Ключевые слова: экологический мониторинг, геоинформационные системы, ГИС.

ACTUALITY OF GEOINFORMATION SYSTEMS APPLICATION IN ENVIRONMENTAL MONITORING

A.V. Kuragin, A.N. Kolesenkov

**Ryazan State Radio Engineering University,
Россия, Рязань, krgn2003@mail.ru,*

Abstract. The paper deals with the aspects of environmental monitoring in the world and Russia. The article reveals the relevance of the use of geoinformation systems in environmental monitoring, as well as the ways of its development in the coming years.

Keywords: environmental monitoring, geoinformation systems, GIS.

Ухудшение экологической обстановки в мировом масштабе является следствием глобального экономического развития. Последствия «потребительского» отношения к экосистеме – планета Земля проявляются в ежегодном росте смертности и падающей продолжительности жизни людей, истощению невозобновляемых и возобновляемых природных ресурсов, усилении социальной напряженности. Если в двадцатом веке загрязнение окружающей среды мало кого серьезно интересовало, то сегодня мировое сообщество пришло к выводу о невозможности существования человечества в неблагоприятной окружающей среде [1].

Актуальность мониторинга окружающей среды заключается в проведении исследований, позволяющих выработать самые оптимальные способы нейтрализации различных видов негативного воздействия на окружающий мир, благодаря моделированию еще не случившихся событий.

Скорость развития глобальной мировой экономики, увеличивает интенсивность негативного воздействия на экосистему планеты Земля уже известных факторов и

способствует появлению новых еще не изученных, с которыми нам только предстоит научиться справляться.

Экологический мониторинг

Экологический мониторинг – комплекс мер, направленных на сбор, анализ и объяснение данных о реакции окружающей среды на фактическое или вероятное воздействие человека и прогнозирование изменений, которые происходят в определенной экосистеме [2].

Экологический мониторинг в мире

В рамках особой международной значимости мониторинга состояния окружающей среды, коллективным усилием разных стран была утверждена Глобальная система мониторинга окружающей среды (ГСМОС) в рамках конференции по окружающей среде человека в Организации Объединенных Наций, которая состоялась в Стокгольме в 1972 году. Центр программной деятельности ГСМОС (англ. GEMS) с главным офисом ЮНЕП в Кении, г. Найроби, координирует все возможные мероприятия по мониторингу окружающей среды, которые проводятся во всем мире, особенно в ООН. Также в ООН в 1990 году был разработан «Глобальный ресурсный банк данных» (GRID). Банк данных используется в интересах международной организации, которая занимается мониторингом окружающей среды. Глобальный мировой мониторинг развивается по пяти направлениям:

1. Климатический мониторинг;
2. Мониторинг распространения загрязняющих веществ на значительные расстояния;
3. Мониторинг, связанный со здоровьем;
4. Мониторинг океана, связанный с загрязнением;
5. Наземный мониторинг возобновляемых ресурсов (растений и животных).

Каждое из этих широких направлений содержит несколько различных всемирных кластеров мониторинга. Примерами являются Всемирная инвентаризация ледников, мониторинг фонового загрязнения воздуха, мониторинг загрязнения воздуха в городах, Глобальный мониторинг качества воды, мониторинг тропических лесов, мониторинг сохранения видов животного и растительного мира.

Контролируемые данные собираются в подходящих координационных центрах для каждой сети, в которых созданы или создаются соответствующие базы данных. Данные анализируются для получения периодических региональных и глобальных оценок на конкретном промежутке времени.

Экологический мониторинг в России

В России основные положения об экологическом мониторинге сформулированы в Федеральном законе от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 29.07.2018) "Об охране окружающей среды".

В рамках осуществления экологического мониторинга в России ставят следующие цели [3]:

- предотвращение негативных воздействий;
- выявление и прогнозирование неблагоприятных процессов, влияющих на экосистему;
- моделирование распространения во времени и пространстве последствий экологического происшествий;
- оценка эффективности принимаемых мер;

– получение всесторонней информации об использовании природных ресурсов.

Современное развитие России сталкивается с проблемами экологии, которые имеют разный масштаб региональные, локальные, национальные и глобальные. К сожалению, предпринятые за последние годы мероприятия для охраны окружающей среды не привели к улучшению экологической обстановки на территории России. Сложная ситуация традиционно имеет место в промышленно развитых регионах страны, где увеличиваются случаи опасного влияния на людей и природные объекты загрязняющими веществами, вызванные аварийными ситуациями в промышленном секторе и нефте/газо-добывающей отрасли. Применение отсталых технологий в совокупности с износом оборудования, к сожалению, способствует в ближайшие годы росту аварийных ситуаций с непредсказуемыми экологическими последствиями. Усиливается отрицательная роль России в воздействии на мировую экосистему – планета Земля.

Ввиду особой актуальности данной темы, экологическая безопасность требует выработки новой перспективной стратегии, сочетающей территориальные и глобальные принципы по охране природы.

Классификация, как признак актуальности вопроса

Многополярная классификация экологического мониторинга, с одной стороны, демонстрирует понимание важности проблематики вопроса, а с другой стороны, предполагает многоуровневую систему координат в решении поставленных задач. По масштабу выделяют глобальный мониторинг, национальный мониторинг, региональный мониторинг, локальный мониторинг, мониторинг объектов. По категории выделяют: мониторинг процессов, мониторинг систем, мониторинг состояний, мониторинг факторов. По времени выделяют: мониторинг разовых ситуаций, мониторинг анализа тенденций, мониторинг цикличности. По признаку направления выделяют мониторинг космического пространства, мониторинг Земли и околоземного пространства. Некоторые из выше указанных видов мониторинга являются комплексными, так как принадлежат к разным классам [4].

Особое место в данной классификации занимает биологический мониторинг, а именно здоровье и качество жизни людей. Важно осознавать не только влияние человека на экосистему, но и обратный процесс. Необходимы глубокие исследования на стыке наук: физики, биологии, химии, экологии, информатики и медицины.

Актуальным становится именно такой синергетический подход к изучению, который дает возможность разработать долгосрочную стратегию развития благополучной экосистемы планеты Земля, с учетом всевозможных негативных факторов настоящего и ближайшего будущего.

Географические информационные системы

На сегодняшний день мероприятия по охране окружающей среды осуществляются различными организациями и на разных уровнях, но, к сожалению, как пока не существует централизованной фундаментальной программы с набором различных средств мониторинга, так и отсутствуют простые с открытой архитектурой ГИС платформы.

Географические Информационные Системы (ГИС) - компьютерные системы, осуществляющие сбор, анализ и хранение географических данных о необходимых объектах, дающие возможность визуализации на экране [5].

Применение ГИС для экологии

Сегодня ГИС является мощным средством для решения разнообразных задач управления, таких как: автоматизированные системы управления, система базы данных, система моделирования и получения проектных решений, и система представления информации.

В решении задач, связанных экологическими проблемами применяют понятия геосистемы, экосистемы и геотехнической системы. Важнейшим инструментом является геоинформационный мониторинг, который интегрирует ряд технологий и позволяет эффективно контролировать и управлять экологическими процессами.

Экологический геоинформационный мониторинг, осуществляемый средствами геоинформационных систем (ГИС), выполняет функцию контроля и экспертизы экологической обстановки в разных масштабах и категориях.

Именно ГИС позволяют визуально оценить место аварии, вычислить зону подтопления и распространение пожара, химического или радиоактивного загрязнения, есть возможность моделировать события в условиях мгновенно меняющейся обстановке [6]. С помощью ГИС определяется масштаб произошедших явлений: размеры пострадавших участков, объемы радиоактивных и химических осадков. Визуально выделяются пострадавшие зоны или зоны отчуждения. С помощью ГИС можно оценивать состояние экосистемы и прогнозировать её развитие.

С помощью различных систем наблюдения, в том числе систем космической съемки, можно получать информацию о природных ресурсах и состоянии окружающей среды [7]. Ее применяют для осуществления экологического мониторинга воздушного пространства, водного и лесного хозяйств, транспортировки и переработки на месте добычи полезных ископаемых, учета земельных ресурсов, а также охраняемых и неохраняемых территорий дикой природы. Оперативно управлять рисками возникновения природных и техногенных аварий, можно при условии использования современных геопространственных технологий.

В целом, отдельные ГИС не решают основной проблемы экологического мониторинга из-за использования различных баз данных и противоречия друг другу. В России различные регионы, ведомства и учреждения пытаются разрабатывать свои ГИС, происходит совмещение отечественной и зарубежной моделей с собственными наработками, так как отсутствуют единые общегосударственные стандарты, которые можно интегрировать в международную систему. Как итог, на сегодняшний день мы имеем системы экологического мониторинга только в 22 из 85 регионах РФ.

Развитие ГИС в рамках экологического мониторинга

Актуальным является вопрос развития ГИС в перспективе ближайших 5-ти лет. Ни для кого не секрет, что в ближайшее время нас ждет резкий рост числа методов получения данных от малых и сверхмалых космических аппаратов [8].

При этом значительную роль играют и системы позиционирования различных объектов. Требуется единая система координат. Например, применение технологий ГЛОНАСС обеспечит развитие систем высокоточного местоположения. Также важным является создание не только единой временной среды, но и единого пространственно-временного информационного пространства.

Ожидается улучшение времени реагирования и качества работы аварийных штабов, за счет получения доступных, точных и своевременных данных. Полученные данные помогут и в планировании и длительного восстановления.

Стандартные методы будут вытесняться. Большое применение найдут облачные

технологии. Программное обеспечение будет предоставляться как услуга[9].

Повышенный спрос на открытый доступ к геоданным и увеличение числа устройств, представляющих такие данные (сенсоры) выявит проблемы обеспечения конфиденциальности [10, 11].

В условиях быстрого и непрерывного развития ГИС обострится вопрос нехватки квалифицированных кадров, которые могут эффективно использовать геоинформационные системы.

Заключение

Несмотря на уже пятидесятилетнюю историю существования, сегодня геоинформационные системы находятся только в начале пути своего развития. В рамках применения ГИС для экологического мониторинга нам предстоит правильно выбрать вектор развития, учесть потенциальные трудности с которыми придется столкнуться в ближайшие 5 лет. Особое внимание необходимо уделить подготовке квалифицированных кадров.

Сильной стороной использования экологического геоинформационного мониторинга является его взаимосвязь со многими технологиями. В этом заключается синергетический эффект: инструментом исследования процесс переноса знаний в различные области.

Сегодня исследователям необходимо обратить внимание на отсутствие универсального аналитического программного обеспечения современного экологического мониторинга, так как пока основное внимание уделяется технологическим аспектам в ущерб аналитическим.

Библиографический список

1. Ашихмина Т.Я. Экологический мониторинг / Т.Я. Ашихмина. - М.: Академический проект, 2008. -416с.
2. Тетельмин В. В. Основы экологического мониторинга. Учебное пособие / В.В. Тетельмин, В.А. Язев. - М.: Интеллект, 2013. -256с.
3. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 29.07.2018) "Об охране окружающей среды"
4. Тихонова, И. О. Основы экологического мониторинга. Учебное пособие / И.О. Тихонова, Н.Е. Кручина. - М.: Форум, Инфра-М, 2015. -240с.
5. Беянина Н. В. Организация и функционирование геоинформационной системы экологического мониторинга на основе распределенных вычислений: моногр. / Н.В. Беянина. - М.: Синергия, 2010. -400с.
6. Колесенков А.Н., Юрьев П.Н. Разработка алгоритма аэрокосмического гис-мониторинга экосистем // Актуальные проблемы математики и информатики: теория, методика, практика сборник научных трудов. Елец, 2015. С. 149-153.
7. Богданов А.Н. Использование результатов космической деятельности в решении задач оценки экологического состояния региона [Текст] / А.Н. Богданов, Г.А. Кочергин, М.А. Куприянов // Науки о Земле. Современное состояние: материалы II Всероссийской молодежной научно-практической школы-конференции. – РИЦ НГУ, 2014. -С.279-281.
8. Колесенков А.Н. Технология поддержки принятия управленческих решений на основе оперативного мониторинга пожарной обстановки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. № 9. С. 157-163.
9. Steiniger S., Hunter A. J. S. Free and open source GIS software for building a spatial data infrastructure // Geospatial free and open source software in the 21st century. – Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp.247-261
10. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоданные как системный информационный ресурс // Вестник Российской Академии Наук.2014. Т. 84. № 9. -С.826–829.
11. Конкин Ю.В., Колесенков А.Н. Распознавание изображений на основе текстурных признаков харалика и искусственных нейронных сетей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 2. С. 117-123.

УДК 681.3.06; ГРНТИ 47.01.11

СОВРЕМЕННЫЕ САПР СВЧ И ИХ ОСОБЕННОСТИ

Е.П. Васильев, И.А. Ермолаев, И.М. Сомов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, evasiliev48@mail.ru*

Аннотация. В данной статье рассматриваются проблемы выбора программных средств и технология применения современных САПР СВЧ. Дается краткий сравнительный анализ широко применяемых коммерческих программ MWO, HFSS и CST MWS. Качественно оценивается точность расчетов микроволновых устройств с использованием различных аналитических (схмотехнических) и электродинамических (численных) методов. В качестве примера, подтверждающего эффективность САПР MWO, приводятся результаты моделирования оригинального submodule усилителя X-диапазона.

Ключевые слова: пакеты прикладных программ, схмотехническое и электродинамическое моделирование, точность расчетов, submodule усилителя, трехступенчатый направленный ответвитель.

MODERN CAD OF UHF AND THEIR FEATURES

E.P. Vasiliev, I.A. Yermolaev, I.M. Somov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, horek.colupaeva@yandex.ru*

The summary. This article discusses the problem of choosing software and the technology of using modern CAD systems of microwave. A brief comparative analysis of widely used commercial programs MWO, HFSS and CST MWS is given. The accuracy of microwave device calculations is estimated qualitatively using various analytical (circuit) and electrodynamic (numerical) methods. As an example, confirming the effectiveness of CAD MWO, the simulation results of the original submodule of the X-band amplifier are given.

Keywords: application program packages, circuitry and electrodynamic modeling, accuracy of calculations, the subamplifier module, the three-stage directed coupler.

В настоящее время имеется ряд пакетов прикладных программ (ППП), таких как Microwave Office (MWO) [1], Ansoft HFSS [2], CST Microwave Studio (CST MWS) [3,4], FEKO [5] и ряда других, предназначенных для расчета электромагнитных полей высокой и низкой частоты. Многие из перечисленных программных реализаций имеют определенные недостатки либо ограничения на область применения. Обоснование выбора ППП схмотехнического и электродинамического моделирования, в зависимости от конкретной проектной задачи, совершенствование технологий моделирования электромагнитных полей в микроволновых устройствах и системах является актуальной научной и практической проблемой.

Поэтому целью представленной работы является: сравнительный анализ современных САПР СВЧ (MWO, HFSS, CST MWS), качественная оценка точности расчетов с использованием различных САПР СВЧ и рассмотрение результатов моделирования, на примере submodule усилителя с сумматорами на трехступенчатых направленных ответвителях с сильной связью.

Сравнительный анализ САПР СВЧ

Интегрированная среда разработки микроволновых устройств фирмы Applied Wave Research (AWR) MWO позволяет реализовать полный цикл исследования и разработки сложных изделий радиотехники. САПР представляет собой композицию модулей для линейного моделирования в частотной области — VoltaireLS, для моделирования схем с существенной нелинейностью, методом гармонического баланса и VoltaireXL, для моделирования схем со слабой нелинейностью методом Рядов Вольтера. При этом для 2.5D EM-моделирования трехмерных многослойных структур подключен модуль EMSight, где применен MoM-метод моделирования (метод моментов). MoM преобразует интегральное

уравнение [6] в систему алгебраических уравнений, которые решаются одним из численных методов. При этом металлические элементы структуры разбиваются на элементарные ячейки, и задаются аппроксимации для поверхностного тока на каждой ячейке.

В MWO, так же встроен модуль электродинамического моделирования AXiEM в котором в отличии от EMSight используется смешанная сетка с треугольными и прямоугольными ячейками. Нет никаких ограничений для встраивания проводников в сетку, а также ограничений на толщину проводников (в отличии от EMSight). Решающее устройство модуля, также использует метода моментов.

Имеются возможности проводить схемотехнический и электродинамический анализ, "ручной" и автоматизированный процесс оптимизации и статистическое моделирование. Модуль TXLine позволяет проводить анализ и синтез микрополосковой и симметричной полосковой линии, копланарной линии, щелевой и коаксиальной.

MWO имеет собственный графический редактор, что позволяет реализовать топологию по схемотехническому представлению микроволнового устройства и далее импортировать (экспортировать) топологию схемы в форматах AutoCAD, GDSII и Sonnet GEO.

К недостатку MWO можно отнести то, что невозможно реализовать сложную 3D-модель (рупорные антенны, волноводные и коаксиальные узлы и т.п.), реализовать оптимизацию трехмерной EM-модели, также не представляется возможным. Поэтому оптимизируются подключенные к трёхмерной электродинамической модели линейные схемотехнические элементы (микрополосковые линии, делители-сумматоры, фильтры, направленные ответвители и др.).

Пакет HFSS (High Frequency Structure Simulator) ориентирован на проектирование антенн. В тоже время, он позволяет моделировать на электродинамическом уровне трёхмерные конструкции микроволновых устройств, для которых сложно применить принцип декомпозиции (волноводно-полосковые переходы, неоднородности в полосковой многослойной ПЛ и др.). В качестве математического обеспечения САПР использован метод конечных элементов (FEM) с разбиением объекта на элементарные ячейки в виде тетраэдров. FEM–метод состоит из следующих шагов: переход к эквивалентной вариационной задаче; разбиение области решения на конечные элементы (кубы, тетраэдры); определение интерполяционных функций, определяющих свойства решения; сведение алгоритма решения к системе линейных алгебраических уравнений.

В пакете HFSS, также использованы: метод уплотнения сетки и быстрой частотной развертки, постпроцессор для визуализации поля и обработки расчетных данных, встроенная программа Empire 3D для реализации параметрического анализа и оптимизации структуры по заданному критерию.

Недостатком HFSS является то, что он позволяет проводить моделирование только линейных устройств, к которым относятся фильтры, линии передачи, неоднородности, делители-сумматоры, направленные ответвители и др. Поэтому сложная схема разбивается на линейную и нелинейную часть, при этом нелинейная часть моделируется другими программами (например, MWO) с использованием матричных методов схемотехнического анализа. Высокая точность расчетов с использованием данного пакета подтверждена на тестовых задачах, так, например, расхождение теоретических и экспериментальных данных для волноводно-коаксиального перехода составили десятые доли децибела [7].

Мощный пакет CST MWS представляет собой быструю и точную программу моделирования сложных объемных СВЧ устройств. Она позволяет моделировать: волноводные и микрополосковые направленные ответвители мощности, делители и

сумматоры мощности, волноводные, микрополосковые и диэлектрические фильтры, различные линии передачи, коаксиальные и многовыводные соединители, оптические волноводы и коммутаторы, различные типы антенн – рупорные, спиральные, планарные и др. При этом используется FIT-метод (метод конечных интегралов) моделирования с кубической сеткой. При использовании прямоугольной системы координат FIT-метод можно считать методом конечных разностей во временной области. Применение в данном пакете FEM-метода с пирамидальной сеткой, позволяет эффективно моделировать 3D структуры.

Исходной информацией для реализации проектной 3D EM-задачи является точный чертеж структуры устройства, сведения о применяемых материалах, требования к выходным характеристикам. Результаты моделирования (многомодовая матрица S , поля внутри и вне структур) учитывают преобразование типов волн, потери в материалах, излучение энергии и другие электромагнитные эффекты.

В большинстве приведенных EM-методов рассматриваемые конструкции разбиваются на частичные области, при этом решение ищется в виде интегралов или рядов функции которые удовлетворяют уравнению Гельмгольца.

Сравнение точности расчетов с использованием различных САПР СВЧ

Нами проведено исследование точности схемотехнического моделирования резонаторов в среде MWO в диапазоне 2 – 3 ГГц, выполненных в виде параллельно включенных микрополосковых разомкнутых на концах шлейфов (материал подложки поликор – $\epsilon = 9.6$, $H = 1$ мм, $\text{tg}\delta = 0.0001$). При этом точность совпадения теоретических (S_{21T}) и экспериментальных ($S_{21Э}$) результатов для функции коэффициента передачи $S_{21}(f) < 14.3\%$, в то время как резонансные частоты практически совпали (рис. 1).

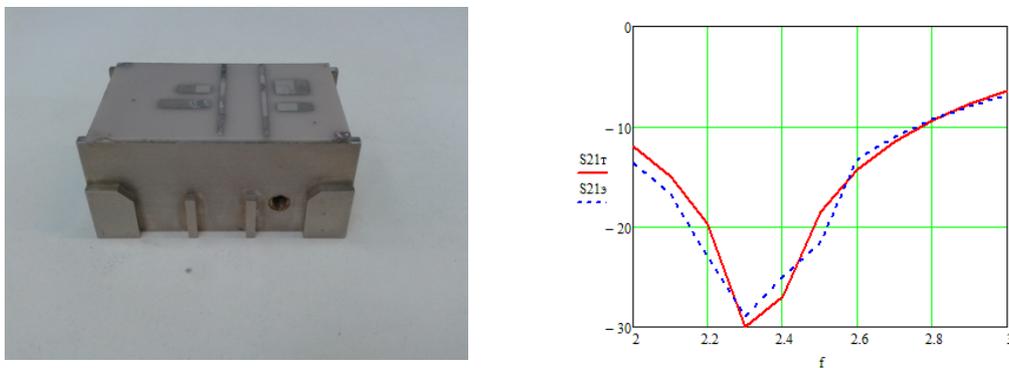


Рис. 1. Сравнение экспериментальных $S_{21Э}$ и теоретических данных S_{21T}

Расчет тестовых структур в диапазоне 1-12 ГГц (отрезок МПЛ в экране, отрезок МПЛ с двумя разомкнутыми на концах шлейфами, полосовой микрополосковый фильтр на четырех разомкнутых шлейфах) показал, что погрешность схемотехнического метод в сравнении с 3D EM-методами может достигать 20%. В тоже время, методы FEM и MoM дают результаты расчетов совпадающие с экспериментом [8].

Сравнение схемотехнического и EM-моделирования на примере меандра на МПЛ, приводит к ощутимому расхождению АЧХ обратных потерь $S_{11}(f)$. Частота минимального значения $S_{11}(f)$ для EM-модели составила 5.9 ГГц, а для схемотехнического моделирования 4.3 ГГц [9]. Аналогичные исследования для прямой МПЛ показали совпадение частот для минимального значения $S_{11}(f)$. Расхождение результатов моделирования обусловлено отсутствием учета EM связей в схемотехническом методе.

В работе [10] реализовано моделирование с использованием программ MWO 2.5D EM [1,6], WIPL-D 3D EM [11], Ansoft Desigener [12] микрополоскового фильтра нижних частот (ФНЧ) на четвертьволновых разомкнутых на конце шлейфах, с Чебышевской аппроксимацией (частота среза 1 ГГц, пульсации в полосе пропускания 0.1 дБ, импеданс генератора и нагрузки 50 Ом, подложка $-\varepsilon = 10.8$, $h=1.27$ мм, импеданс высокоомной линии 110 Ом, $W_L=0.1$ мм, ширина разомкнутого шлейфа $W_c=5$ мм, отрезки МПЛ: $l_1=l_7=5.85$ мм, $l_2=l_6=13.32$ мм, $l_3=l_5=9.54$ мм, $l_4=15.09$ мм). Сравнительный анализ характеристик $S_{21}(f)$ показал хорошее совпадение в диапазоне 0 – 2.6 ГГц и значительное расхождение в диапазоне 2.65 - 3 ГГц (рис. 2).

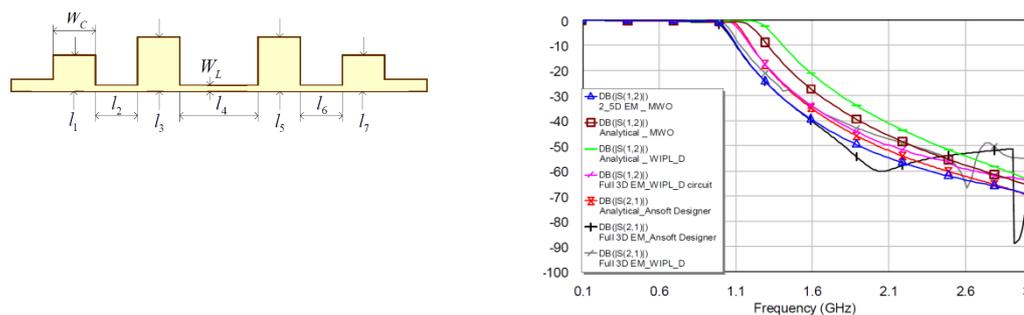


Рис. 2. Сравнение результатов моделирования ФНЧ на схемотехническом и на электродинамическом уровне приближения

Применение САПР MOMENTUM [13], FEKO, CST MWS и HFSS для вычисления обратных потерь $S_{11}(f)$ микрополосковой прямоугольной антенны, показало, что результаты EM моделирования каждой из перечисленных программ совпадают с точностью $<1.5\%$ [14].

Моделирование микрополоскового усилителя проведенное с использованием программ MWO и FEKO [15], позволило в пакете FEKO учесть электромагнитные связи между согласующими цепями. С другой стороны, в программе MWO при моделирование входной и выходной согласующих цепей, необходимо создавать отдельные боксы, при этом не учитывается их взаимное влияние. Расчеты коэффициента передачи микрополоскового усилителя мощности без корпуса по программам FEKO и MWO дают близкие результаты в диапазоне от 1 до 10 ГГц.

Результаты эксперимента

Рассмотрим пример решения проектных задач с использованием САПР СВЧ. Структурная схема мощного усилительного каскада на семи транзисторах GaN-HEMT SGC598-200A-R приведена на рис. 3. Это компактная схема на трехкаскадных направленных ответвителях (НО) с сильной связью ($-3 - -8.45$ дБ), которые реализуют синфазное суммирование мощности.

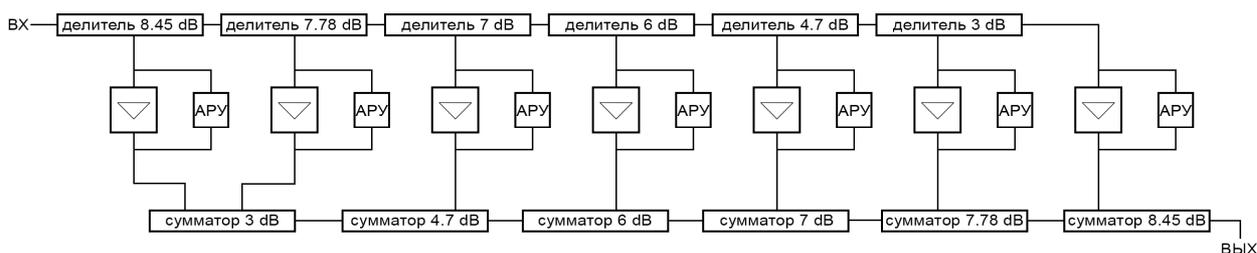
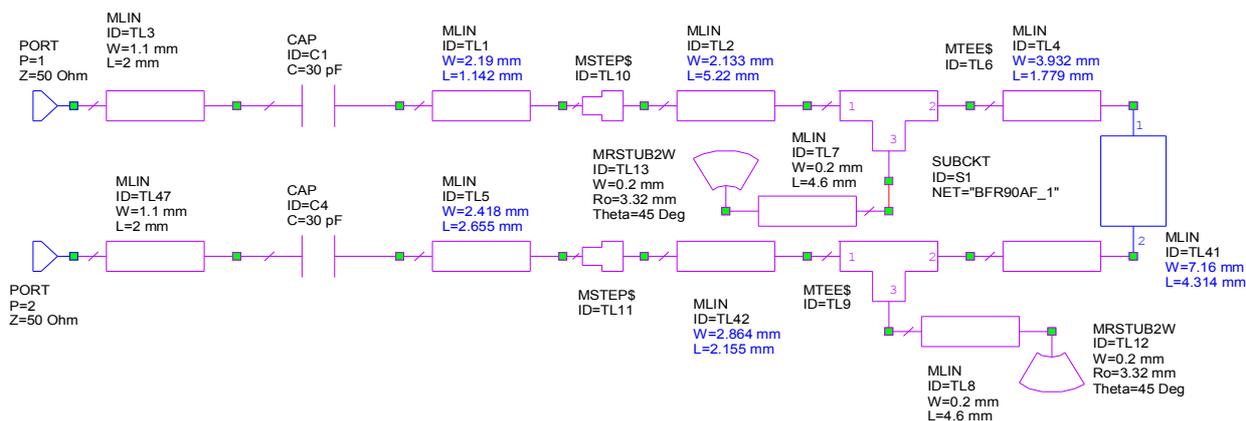


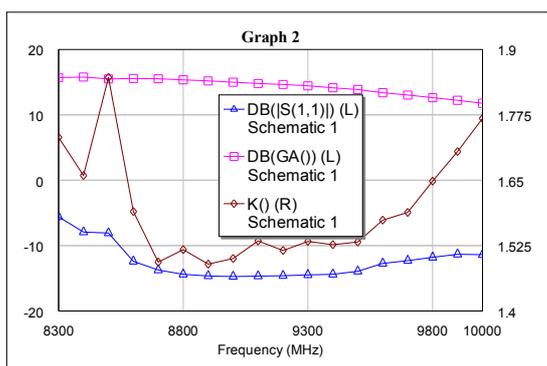
Рис. 3. Схема субмодуля усилителя с сумматорами-делителями на трехступенчатых НО с сильной связью

Приведем результаты моделирования микрополоскового усилителя мощности (УМ) в среде MWO. Расчет согласования входного и выходного импеданса транзистора GaN-HEMT SGC598-200A-R выполнен в X-диапазоне. Выбор подложки и конструктивного типа линии передачи осуществлен с учетом достижимого уровня выходной мощности УМ 251 ватт. В соответствии с соотношением для температуры проводника МПЛ выбран материал фольгированной подложки арлон с параметрами: относительная диэлектрическая проницаемость 3.38, толщина подложки 1 мм, толщина медной фольги 25 мкм. При этом нагрев отрезка МПЛ длиной 10 мм составил 54°C , что вполне допустимо.

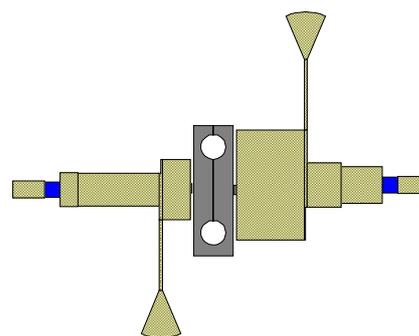
Предварительный выбор структуры и расчет согласующих цепей (СЦ) [16] проведен с использованием электронной диаграммы Смита. В среде MWO реализована оптимизация конструктивных параметров входной и выходной СЦ. Схема, характеристики и топология УМ на транзисторе GaN-HEMT SGC598-200A-R приведены на рисунке 4 ($|S_{11}|$ – коэффициент отражения по входу УМ, GA – коэффициент усиления, K – коэффициент устойчивости УМ). В рабочей полосе частот 8800 – 9800 МГц получены требуемые оптимизированные параметры. Наилучшие результаты дал метод Point-Robust Optimization.



a



б



в

Рис. 4. Схема транзисторного УМ (а), результаты моделирования (б) и топология (в)

Трехкаскадный НО на связанных МПЛ с переходным ослаблением -3дБ наиболее чувствителен к конструктивно-технологическому разбросу параметров. Поэтому проведено его схемотехническое и электродинамическое моделирование с помощью пакетов EMSight и AXiEM входящих в САПР MWO (рис. 5).

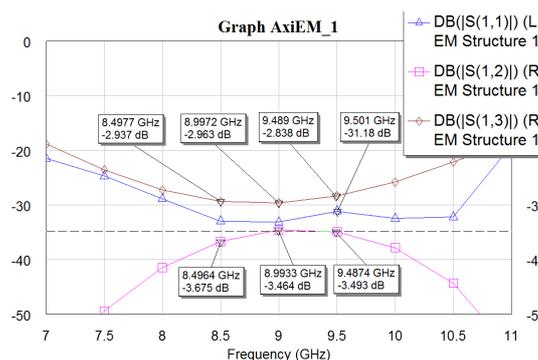
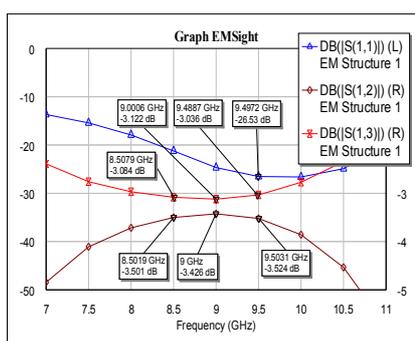


Рис. 5. Результаты EM-моделирования трехступенчатого трехдецибелного НО с помощью пакетов EMSight и AXiEM

Абсолютное максимальное расхождение характеристик S12 и S13 рассчитанное двумя указанными электродинамическими программами составило в рабочем диапазоне частот 0.198 дБ, что подтверждает высокую точность совпадения расчетов.

Результаты моделирования submodule усилителя с сумматорами на трехступенчатых НО с сильной связью (рис. 4,5) апробированы в процессе разработки приемо-передающих модулей авионики в X-диапазоне [17], при этом расхождение теоретических и экспериментальных данных, составляло в рабочем диапазоне частот не более $\pm 18\%$.

Заключение

Статья дает некоторое представление о современном состоянии постоянно развивающегося научного направления – методы и средства математического моделирования и автоматизированного проектирования микроволновых устройств и систем. Рассмотрены основные методы схемотехнического и электродинамического моделирования. Представлена краткая, оценочная характеристика основных САПР (MWO, HFSS и CST). При этом необходимо отметить:

1. Методы FIT и FEM позволяют эффективно моделировать более сложные трехмерные структуры. Метод-МоМ показал высокую скорость моделирования при использовании функции Грина для диэлектрических подложек с бесконечными размерами. FEM и FIT методы более точно рассчитывают антенны малых размеров, за счет учета эффектов дифракции и отражения на границах структуры, FIT метод решает электродинамическую задачу во временной области за одну итерацию, что сокращает временные затраты на вычислительный процесс для широкополосных систем.

2. Методы 3D и 2.5D EM-моделирования (FEM, МоМ) дают достаточно высокую точность совпадения с результатами эксперимента, погрешность метода схемотехнического моделирования может достигать 20%.

3. Пакеты CST и HFSS позволяют эффективно отслеживать электромагнитные связи между элементами электродинамической структуры за счет адаптивного наложения сетки.

4. Как показали исследования субмодуля усилителя X-диапазона коммерческие САПР СВЧ не позволяют учитывать ряд неоднородностей возникающих в реальных конструкциях микроволновых устройств (участки подключения коаксиально-полосковых переходов, сочленения микросхем на различных подложках, подключение транзистора к микрополосковым платам и др.), что приводит в ряде случаев к значительным отклонениям выходных характеристик.

5. Человеческий фактор в процессе разработки сложных микроволновых систем играет первостепенную роль. Исследователь неизбежно опирается на опыт и интуицию и ориентируется на эвристические подходы и классификацию математических методов, алгоритмов и САПР СВЧ. При этом требуется: нахождение разумного компромисса между точностью модели и сложностью реализации машинного эксперимента; нахождение соответствия между схемотехническими и электродинамическими моделями базовых элементов и устройств; обоснованное исключение ряда элементов схемы и замена их суррогатными моделями.

6. Дальнейшее совершенствование перспективных направлений, связанных с развитием объемных интегральных схем СВЧ и функциональных СВЧ устройств, потребует совершенствования математического и программного обеспечения компьютерных систем, связанных с нахождением компромисса между точностью модели и временными (экономическими) затратами на реализацию проекта.

Библиографический список

1. Режим доступа: <https://www.awrcorp.com/products/ni-awr-design-environment/microwave-office-software> (сайт компании AWR – разработчик программы MWO). (Дата обращения 05.02.19).
2. Режим доступа: <http://www.ansys.com/> (сайт компании ANSYS – разработчик программы HFSS). (Дата обращения 05.02.19).
3. Режим доступа: <https://www.cst.com/products/csts2> (сайт компании CST – разработчик программы CST STUDIO SUITE). (Дата обращения 05.02.19).
4. Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. М.: МЭИ. – 2011. – 155 с.
5. Режим доступа: <https://altairhyperworks.com/product/FEKO> (сайт компании Altair Engineering, Inc.). (Дата обращения 05.02.19).
6. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office. / Под ред. В.Д. Разевига. – М.: СОЛОН-Пресс. – 2003. – 496 с.
7. Банков С.Е., Курушин А.А., Разевиг В.Д. Анализ и оптимизация трехмерных СВЧ-структур с помощью HFSS. / Под ред. Банкова С.Е. Изд. 2-е, дополненное – М.: СОЛОН-Пресс. – 2012. – 216 с.
8. Курушин А.А. К вопросу о точности расчёта программ электродинамического моделирования СВЧ-устройств // Современная электроника. – 2013. – № 8. – С. 68-71.
9. Моррис Д. Моделирование электромагнитных полей – как выбрать лучший метод // Электроника. Наука. Технология. Бизнес. – 2003. – №3. – С. 124 – 129.

10. Dejan V. T., Milka P. Software Tools for Research and Education. // Microwave Review. – 2006. – November. – P. 44-54. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/237710573_Software_Tools_for_Research_and_Education_Dejan_V_Tosic_Milka_Potrebic. (Дата обращения 05.02.19).
11. Kolundzija B.M. WIPL-D Microwave – Software and User's Manual. – Artech House. – USA. – 2005.
12. Ansoft Designer with Nexxim version 2.2, Ansoft, USA, 2005.
13. Режим доступа: <https://www.keysight.com/ru/pc-1887116/momentum-3d-planar-em-simulator?nid=33748.0&cc=RU&lc=rus> (сайт компании – разработчик программы MOMENTUM 3D). (Дата обращения 05.02.19).
14. Васильченко А., Схольц Ив, Де Раад В., Ванденбош Г. Качественная оценка вычислительных методов электродинамики на примере программных продуктов для высокочастотного моделирования микрополосковых антенн // Технология в электронной промышленности. – 2008. – №3. – С. 52–56.
15. Курушин А.А. Электродинамическое моделирование микрополоскового транзисторного усилителя // Компоненты и технологии. – 2011. – №12. – С. 76–79.
16. Васильев Е.П. Моделирование согласующих цепей по известным импедансам микроволновых транзисторов // Технические науки: проблемы и решения: сб. ст. по материалам XII Международной научно-практической конференции. – № 6(11). – М.: Интернаук. – 2018. – С. 70 – 80.
17. Трёхступенчатый направленный ответвитель: пат. 2016100276/28(000335) Рос. Федерация: МПК H01P 5/18 / Левашев В.Г., Иванов М.А.; заявитель и патентообладатель ООО НПК Радарсервис; заявл. 11.01.2016. Режим доступа: https://нэб.рф/catalog/000224_000128_0000165185_20161010_U1_RU/. (Дата обращения 05.02.19).

УДК 629.784; ГРНТИ 49.43.31

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНОЙ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

В.А. Новиков*, А.В. Балдин*, Н.С. Балдина**

*ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева,

Российская Федерация, Королев, baldin.al.v@yandex.ru,

**АО «Корпорация «Тактическое Ракетное Вооружение»,

Российская Федерация, Королев, Novikov.v.a.48@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматриваются системы космической радиолинии передачи данных. Целью является разработка перспективной бортовой системы космической радиолинии передачи данных, которая будет превосходить свои отечественные аналоги по техническим и массо-габаритным характеристикам.

Ключевые слова: бортовая радиосистема, космический аппарат, многофункциональная космическая система ретрансляции (МКСР) «Луч», ПЛИС, фазовая модуляция.

DEVELOPMENT OF A PERSPECTIVE AIRPORT SYSTEM SPACE RADIO LINE DATA TRANSMISSION

V.A. Novikov *, A.V. Baldin *, N.S. Baldina**

* RSC Energia PJSC S.P. Queen,

Russian Federation, Korolev, baldin.al.v@yandex.ru,

** JSC Tactical Missile Weapons Corporation,

Russian Federation, Korolev, Novikov.v.a.48@yandex.ru

Annotation. The paper deals with space radio data transmission systems. The goal is to develop a promising on-board system of a space radio data link that will surpass its domestic counterparts in technical and mass-dimensional characteristics..

Keywords: airborne radio system, spacecraft, multifunctional space relay system (MKSР) «Luch», FPGA, phase modulation binary phase shift keying (FMN-2 or BPSK)

В настоящее время существует сравнительно большое количество различных бортовых систем и соответствующих космических радиолиний передачи данных, которые совместно с земными станциями «Клен» предназначены для обеспечения радиоуправления, радиосвязи и радиоконтроля космических аппаратов (КА) в зонах прямой видимости.

Однако бортовые и наземные радиотехнические средства, обеспечивающие управление КА и контроль технического состояния систем, выработали технический ресурс и устарели. Кроме того, существующие бортовые радиотехнические средства (за исключением аппаратуры «ЕКТС»), не могут взаимодействовать с многофункциональной космической системой ретрансляции (МКСР) «Луч».

МКСР «Луч» преимущественно предназначена для информационного обеспечения объектов ракетно-космической техники (РКТ), включая Международную космическую станцию (МКС). Средства системы ретранслируют телеметрию с объектов РКТ на различных этапах выведения и далее, в процессе целевой эксплуатации КА. Для обеспечения работоспособности канала передачи данных на борту КА устанавливается аппаратура ретрансляции МКСР «Луч» [1].

Зоны радиовидимости аппаратов МКСР «Луч» позволяют ретранслировать телеметрические данные с различных объектов РКТ, находящихся на траекториях полета с высотами до 2000 км. Информация с объектов РКТ передается на земные станции приема-передачи информации, расположенные на территории России, откуда доставляется по инфраструктуре системы в Центр управления полетами и прочим пользователям целевой информации.

Таким образом, чтобы наблюдать телеметрические параметры КА, управлять им и поддерживать связь с экипажем, в том числе через видеотрансляцию в постоянном режиме на протяжении 70% длительности полета КА вокруг Земли, необходимо обеспечить совместимость разрабатываемой перспективной бортовой системы с МКСР «Луч».

Существующие бортовые системы имеют сравнительно большие массо-габаритные характеристики. Например, аппаратура «ЕКТС» имеет массу 40 кг, а основным преимуществом, на сегодняшний день, отечественной космонавтики является более низкая, чем у конкурентов, стоимость вывода на орбиту полезной нагрузки [2].

Стоит отметить, чтобы Россия сохранила лидирующие позиции на коммерческом рынке доставки грузов в космос необходимо выделять больше места под грузы, доставляемые на МКС.

Россия и США в вопросе строительства и использования космических транспортных кораблей, постоянно соревнуются и конкурируют между собой. В эту гонку активно пытаются включиться Китай и Япония [3].

Таким образом необходимо разработать перспективную бортовую систему космической радиолинии передачи данных, которая обеспечит ряд преимуществ:

- возможность международного сотрудничества с зарубежными космическими агентствами (NASA, ESA, NASDA и др.) в области передачи космических данных и оказание кроссподдержки при выполнении национальных проектов за счёт реализации в перспективной бортовой системе основных требований международных стандартов и рекомендаций CCSDS, включающих S-диапазон радиоволн;

- снизит в 1,5–2 раза массу и габариты по сравнению с существующими системами-аналогами за счёт использования в конструкции современной дискретной отечественной элементной базы и технологии «Система на кристалле», реализованной на элементах сверхвысокой степени интеграции на основе ПЛИС;

- позволит легко осуществить наращивание и изменение аппаратуры применительно к конкретному КА за счет модульности конструкции перспективной бортовой системы;

- обеспечит полную преемственность с существующими системами по информационно-логическому и схмотехническому взаимодействию со всеми имеющимися системами-абонентами на российских КА по обмену информацией,

плюс возможность информационной стыковки с другими абонентами по современным

универсальным интерфейсам типа SpaceWire;

- уменьшит количество линий радиосвязи с одним объектом, за счёт организации единого радиоканала для передачи управляющей, телеметрической, телевизионной и связанной информации;

- значительно повысит качество и стабильность параметров при приёме и обработке информации, а также увеличит надёжности работы аппаратуры за счёт реализации в перспективной бортовой системе цифровых методов обработки сигналов и большего уровня резервирования.

Назначение перспективной бортовой радиосистемы

БРС предназначен для контроля и управление космическим аппаратом (КА) в двух диапазонах частот, которые согласно международному Регламенту радиосвязи (ITU-RR) распределены для службы космической эксплуатации (Space Operation Service) на первичной основе, это S-диапазон и X-диапазон частот.

S-диапазон на прием используется на всех участках полета КА, включая:

- предстартовую подготовку и активный участок полета;
- работу на околоземной орбите через спутник ретранслятор (СР) «Луч»;
- сближение и стыковку с элементами лунной (земной) орбитальной структурой (ЭЛОИ, ЭЗОИ);
- отлетные траектории к Луне.

S-диапазон на передачу используется только при работе КА в околоземном пространстве, включая работу через СР «Луч», а также работу при сближении и стыковке с ЭЛОИ (ЭЗОИ).

X-диапазон частот на передачу используется исключительно на отлетных траекториях к Луне, при этом в целях повышения надежности управления КА при аварийных ситуациях в качестве резервного при полетах к Луне может использоваться S-диапазон на передачу.

Такой выбор рабочих частотных диапазонов БРС обусловлен следующими причинами:

- существует ограничение на передачу с «борта» в S-диапазоне со стороны МО РФ, при этом если при работе в околоземном пространстве с МО РФ возможна координация организационными методами (выключение бортового передатчика БРС в заранее просчитанные промежутки времени), то при полетах к Луне бортовая передающая антенна в S-диапазоне будет «засвечивать» целиком всю Землю;

- согласно рекомендации CCSDS «Radio frequency and modulation systems–Part 1, Earth stations and spacecraft, Recommended standard, CCSDS 401.0-B» [4] и разработанному на его основе стандарту европейского космического агентства «Radio frequency and modulation standard, ESA PSS-04-105» для обеспечения когерентного переизлучения несущей в целях измерения радиальной составляющей скорости КА в ближнем космосе (дальности до 2 млн. км) допускается соотношение значений рабочих частот бортового ПРД и ПРМ с коэффициентом 900/221 (CCSDS 401/0-B, раздел 2.6.3A), т.е. при этом в международной сети станций слежений существует ряд станций, обеспечивающих контроль и управление КА, оснащенных бортовыми радиосистемами, работающими с этим коэффициентом частотных преобразований. Комитет CCSDS для таких радиосистем выделил полосу частот на передачу 8450÷8500 МГц в X- диапазоне частот.

Основные технические характеристики БРС КА при полете на околоземной орбите, при полете к Луне, при сближении и стыковке с ЭЛОИ (ЭЗОИ) приведены в таблице 1.

Таблица 1– Характеристики БРС

Параметр	Значение	Примечание
Коэффициент частотного преобразования переизлучаемой несущей	S-диапазон: 240/221 X-диапазон:900/221	
Полоса радиосигнала, МГц, не более - запрос - ответ	6,0 6,0 или 8,192	
Метод модуляции: - запрос - ответ	BPSK QPSK	Запросный канал представляет собой канал управления КА, следовательно количество передаваемой информации в нем меньше чем в ответном, поэтому целесообразнее использовать BPSK
Структура сигналов и форматы передачи данных в канале радиопреуправления и канале радиоконтроля	В соответствии с группой стандартов CCSDS	Совместимы с зарубежными станциями управления
Дальности радиосвязи, км, не более: - при работе через СР - при работе с «Клен» - при полетах к Луне	42500 2000 400000	
Погрешность в измерения текущих навигационных параметров (ИТНП) при работе с «Клен», нс, не более	150	
Мощность ПРД, Вт, не менее - при работе в S-диапазоне	Определяется усилителем мощности на выходе передающего тракта	

Особое место в управлении КА занимает командная радиолиния (КРЛ). Благодаря ей на «борт» поступают служебные команды, предназначенные непосредственно для настройки конфигурации БРС, функциональные, предназначенные для настройки режимов работы смежных систем (абонентов), а также массивы цифровой информации для загрузки их в центральную вычислительную машину КА.

Все команды играют важную роль, поэтому необходимо, что бы во время передачи данных команд по КРЛ они не искажались, имели высокую помехоустойчивость. Скорость передачи при этом имеет второстепенное значение.

Конструктивное исполнение БРС

Основные составные части БРС следует выполнить в виде моноблока, который представляет собой функционально законченную единицу. Моноблок состоит из блоков, которые объединяются в прибор этажеркой и крепятся с помощью шпилек. Электрические связи между блоками в моноблоке осуществляются с помощью кабелей, расположенных в кабельном канале. Кабельный канал после сборки моноблока закрывается крышкой. Для обеспечения электрических связей с внешними абонентами на каждом блоке предусмотрены соответствующие внешние разъемы.

БРС должна состоять из следующих модулей (блоков):

- модуля приема-передачи (МПП), предназначенный для формирования полезного сигнала, для подключения к шине обмена данных, для внешней установки адреса мультиплексного канала обмена.
- блока речевой информации (БРИ), предназначенный для обработки всех аудиосигналов, для обеспечения проводной связи тональной частоты;
- блока релейных команд (БРК), предназначенный для осуществления выдачи релейных команд в систему управления бортовым комплексом;
- блока высокой частоты (БВЧ), предназначенный для подключения высокочастотных кабелей приема и передачи сигнала;
- блока коммутаторов, предназначенный для информационного взаимодействия со смежными системами КА по интерфейсу «SpaceWire».

Библиографический список

1. Ретрансляция телеметрии с объектов РКТ, связь с МКС [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gonets.ru/rus/uslugi/sistema-retranslyacii-luch/iss-telemetry/>. Дата обращения: 31.10.18.
2. ЕКТС-ТКА [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rosorkk.ru/414/>. Дата обращения: 31.10.18.
3. Транспортные корабли, доставляющие грузы на МКС [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cargolink.ru/ls/blog/1497.html> Дата обращения: 02.11.18.
4. CCSDS «Radio frequency and modulation systems–Part 1, Earth stations and spacecraft, Recommended standard, CCSDS 401.0-B»

УДК 004.932.2; ГРНТИ 20.53.19

МЕТОДЫ ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ С КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ GEONETCAST

О.А. Бодров, М.В. Грачев, Д.И. Лбов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, dmitrylbov@gmail.com*

Аннотация. Рассматриваются особенности приема сигналов с метеорологической спутниковой системы GEONETCast. Приведены различные методы приема и передачи данных метеорологических спутников. Измерены основные параметры принимаемых радиосигналов. Исследованы различные методы обработки полученных данных с геостационарных и низкоорбитальных спутников. Разработан алгоритм автоматизированной обработки данных с метеорологической спутниковой системы GEONETCast.

Ключевые слова: спутниковая связь, EUMETSAT, приемник спутниковой информации, АYecka SR1, библиотека GDAL, GEONETCast.

RECEIVING AND PROCESSING METHODS FOR METEOROLOGICAL SATELLITE DATA USING GLOBAL NETWORK OF SATELLITE-BASED DISSEMINATION SYSTEMS GEONETCAST

O.A. Bodrov, M.V. Grachev, D.I. Lbov
Ryazan State Radioengineering University,
Russia, Ryazan, dmitrylbov@gmail.com

Abstract. The features of receiving signals from meteorological satellite system GEONETCast are considered. Different methods of receiving and transmitting meteorological satellite data are given. Various parameters of received signals are measured. Different methods of processing received data from low orbit and geostationary satellites are researched. Algorithm of automated processing of data from meteorological satellite system GEONETCast is developed.

Keywords: satellite data transmission, EUMETSAT, satellite data receiver, Ayecka SR1, GDAL, GEONETCast

Метеорологический мониторинг Земли в настоящее время является актуальной научно-технической задачей. В отличие от традиционных методов метеорологии, спутниковая метеорология позволяет быстро и одновременно получать данные о состоянии атмосферы в различных точках земного шара. Также спутниковой системе метеорологического мониторинга доступны необитаемые и ненаблюдаемые развернутыми в настоящее время средствами наземных метеорологических станций площади земной поверхности и океанов, которые занимают 86-90% поверхности земного шара [1]. Таким образом, применение технологий спутниковой метеорологии позволяет в нужном регионе своевременно отследить изменения в атмосфере и процессах происходящих в ней. Однако это требует развертывания радиосети для передачи и приема данных. Целью данной работы является исследование различных методов приема данных с группировки метеорологических спутников, а также разработка алгоритмов обработки принятой информации.

Метеорологические спутники используются для получения из космоса метеорологических данных о Земле. Спутники этого типа несут на борту приборы, с помощью которых ведутся наблюдения за физикой атмосферы Земли. Существует два основных типа метеорологических спутников: геостационарные и низкоорбитальные. Геостационарные спутники находятся постоянно над одной и той же точкой на земной поверхности и располагаются над экватором на высоте 35786 км, что обеспечивает спутнику период обращения, равный периоду обращения Земли. Для приема данных с таких спутников необходимо иметь направленную неподвижную антенну.

Низкоорбитальные спутники находятся на высоте менее 1000 км над поверхностью Земли. Таким образом, их период обращения не синхронизирован с периодом обращения Земли. Эффективный прием данных с низкоорбитальных спутников требует наличие на наземном пункте приема информации следящего устройства, узконаправленной антенны, установленной на поворотное устройство. Время приема сигнала с низкоорбитального спутника ограничено временем видимости этого спутника. Таким образом, развертывание и эксплуатация наземных пунктов приема информации с низкоорбитальных спутников требует больших денежных средств. Экономически и технически более выгодной считается метод, основывающийся на использовании ретрансляционных спутников [2].

Промежуточный ретранслятор радиосети связи устанавливается на борту космического аппарата, который движется по орбите почти без затрат энергии на это движение. Затраты энергии связаны с необходимостью коррекции параметров орбиты ретрансляционного спутника. Таким образом, ретрансляционный спутник является автономной системой, способной предоставлять услуги связи. Методика приемо-передачи цифровой метеорологической информации с метеорологической спутниковой системы, получившей название GEONETCast, и связанные с ней технологии были разработаны

Европейской организацией по эксплуатации метеорологических спутников EUMETSAT [2]. Данная технология основана на передаче цифрового видеосигнала Digital Video Broadcast (DVB), для приема которого используется стандартное недорогое оборудование.

Данные с геостационарных и низкоорбитальных спутников со станций приема первичной информации по широкополосным каналам передаются в главный телекоммуникационный центр, откуда вся совокупность данных поступает на геостационарный спутник Eutelsat-10A, с которого сигнал ретранслируется пользователям, находящимся в Европе и на севере Африки [2]. Данный метод приема данных является квазиоперативным. Передача данных от первичного спутника до пользователя занимает 5-10 минут.

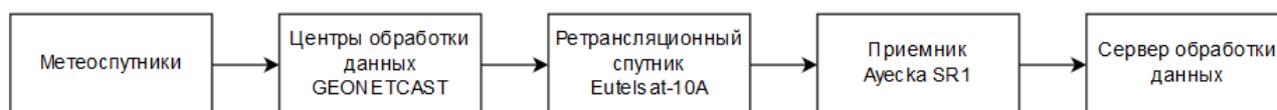


Рис. 1. Схема передачи данных метеоспутников на локальный сервер обработки данных

В данной работе рассматривается прием данных с использованием стационарной спутниковой антенны, направленной на геостационарный ретрансляционный спутник Eutelsat-10A. К выходу антенны подключен спутниковый конвертер LNB, включающий в себя малошумящий усилитель и преобразователь частоты. В качестве приемника используется приемник АУЕСКА SR1, настроенный на частоту $f = 1512,5$ МГц, подключенный к выходу конвертера. В работе измерены основные параметры принимаемого радиосигнала. Уровень входного сигнала $P_s = -29$ дБм, отношение сигнал-шум на входе приемного устройства $q = 12,6$ дБ, вероятность битовой ошибки на выходе декодера $BER = 10^{-7}$. Приемное устройство обеспечивает соответствующей мощностью конвертер, который принимает сигнал стандарта DVB-S / S2 в L-диапазоне. В зависимости от сигнально-помеховой обстановки приемником Аюеска SR1 автоматически (ACM) выбираются вид модуляции и способ кодирования сигнала. Для сигнала с модуляцией 8PSK измерено предельное отношение-сигнал шум $q_{\min} = 9,8$ дБ, при котором возможен прием спутниковых данных. Все IP-пакеты одноадресной передачи данных Unicast, которые приемник извлекает из спутникового сигнала, перенаправляются на роутер. Также Аюеска SR1 использует протокол ARP, позволяющий по известному IP-адресу определить MAC-адрес сети. Полученный многоадресный поток данных пересылается непосредственно в локальную сеть LAN [3].

В локальной сети данные объединяются в файлы форматов NetCDF, Bufr, gz, hdf5. Эти файлы сортируются по каталогам по расширениям для увеличения скорости и эффективности работы с ними. В каждом файле находится N наборов данных (dataset), к каждому из которых относится набор метаданных. Набор данных содержит в себе один или несколько растровых наборов (rasterband), или несколько дочерних наборов данных. Метаданные содержат информацию, необходимую для обработки наборов данных, например название и идентификатор спутника, координаты его местоположения в момент создания этого набора, разрядность и тип данных, содержащихся в наборе, например 32-битные числа с плавающей точкой, 8-битные целые числа и тд. В каждом файле содержится один материнский набор данных, в который входят ссылки на остальные наборы данных этого файла.

Существуют различные способы извлечения данных из обрабатываемых файлов. Так,

при помощи специальной утилиты h52gif можно получать черно-белые изображения формата GIF (рис.1) , однако этот способ не является оптимальным, поскольку в ходе такого извлечения данных теряются важные метаданные, а также цветовая палитра конвертированного изображения не позволяет визуально оценивать снимки.



Рис. 1. Изображение с геостационарного спутника Meteosat 10, конвертируемое с помощью утилиты h52gif

Поэтому для обработки файлов была разработано приложение на языке высокого уровня Python с использованием библиотеки GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), позволяющей обрабатывать файлы с геоспутниковой информацией, а также библиотек Pillow и NumPy.

Принцип работы приложения следующий:

Файлы сортируются по каталогам, в зависимости от расширений. Приложение следит за обновлениями в этих каталогах, и если оно обнаруживает новый файл, то приступает к его обработке.

Сначала файл открывается для чтения при помощи библиотеки GDAL [4]. Далее из файла считывается материнский набор данных. Исходя из полученных метаданных, приложение определяет, представляет ли он интерес для дальнейшего исследования. Так наборы, на которых нет определенного географического объекта, не представляют интереса.

Также приложение определяет спутник, с которого пришла информация. Это позволяет определить необходимые для дальнейшей обработки дочерние наборы данных. После этого начинается обработка вложенных наборов, в ходе которой информация из их растровых матриц считывается в массивы.

Данные из наборов данных, характеризующих широту и долготу каждого пикселя, считываются в специальные массивы отдельно от остальных для последующего использования при сопоставлении пикселей изображений с их географическими координатами.

Далее создаются новые массивы такой же размерности, как и считанные, но содержащие не числа, а кортежи, кодирующие цвета [5]. Далее числа из исходных массивов преобразуются в кортежи в соответствии с определённым фильтром: большим значениям должны соответствовать более красные цвета, а меньшим - более синие. После чего при помощи библиотеки Pillow матрица кортежей преобразуется в изображение, на которое, в соответствии с широтой и долготой, наносится интересующий географический объект, например город Рязань, затем изображение сохраняется в формате jpeg (рис. 2) и приложение продолжает ожидать появления новых файлов в каталогах.

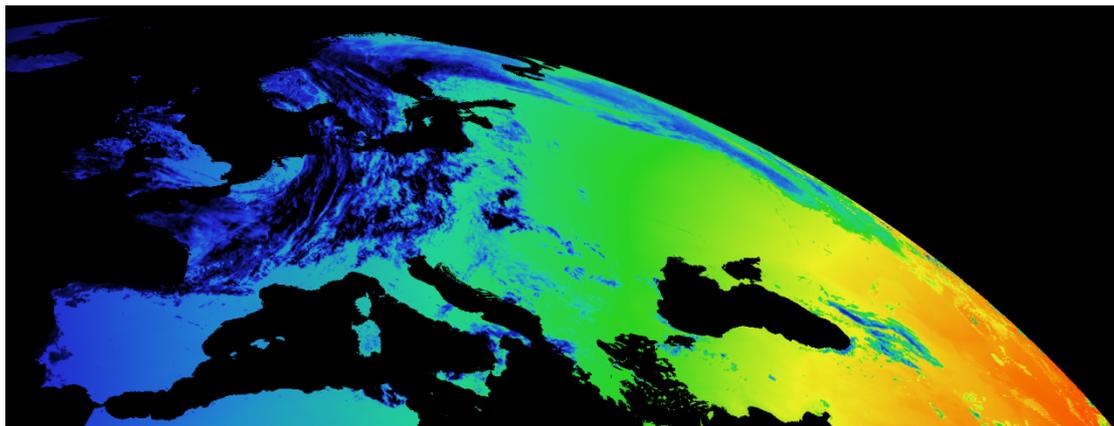


Рис. 2. Изображение с геостационарного спутника Meteosat 10, конвертируемое с помощью библиотеки GDAL

Благодаря такому алгоритму работы приложения возможно использовать полученные изображения в сторонних параллельных приложениях, например, для создания Интернет-ресурса, позволяющего заниматься мониторингом информации большого числа спутников одновременно из любой точки с доступом к сети Интернет.

Разработанная система имеет ряд аналогов: HDFView, PanoplyWin, BUFRdisplay, h52gif. С их помощью обработка данных выполняется с участием оператора. Перечисленные программные решения не являются универсальными, так как позволяют обрабатывать файлы ограниченного числа форматов. Сложность алгоритмов обработки данных приведенных приложений оценивается как $O(N)$. Разработанная система позволяет производить автоматическую обработку данных различных форматов, используемых в геоинформационных системах, без участия оператора. Сложность реализованного алгоритма оценивается как $O(n)$, где n – количество полезных, необходимых для обработки наборов данных, причем $n \leq N$.

Приведенные в работе методы приема и обработки метеорологической информации позволяют получать удобные для дальнейшего исследования и анализа данные. Использование спутниковой системы GEONETCast позволяет значительно удешевить и упростить передачу и сбор данных с метеорологических спутников. Разработанный алгоритм автоматизированной обработки спутниковых данных позволяет получать квазиоперативную информацию с различных аппаратов, а также обеспечивает возможность параллельной распределенной обработки полученной информации.

Библиографический список

1. Кондратьев К. Я., Тимофеев Ю. М., Термическое зондирование атмосферы со спутников, Л., 1970; Минина Л. С., Практика нефанализа, Л., 1970; Кондратьев К. Я., Спутниковая метеорология, в кн.: Итоги науки и техники. Метеорология и климатология, т. 3, М., 1976.
2. EUMETCast. EUMETSAT's Broadcast System for Environmental Data. Technical Description/EUM TD 15. Issue 5. September 2004., 34 pp.
3. Advanced DVB-S2 Receiver with GigE Interface [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ayeska.com>, свободный. Загл. с экрана.
4. GDAL - Geospatial Data Abstraction Library [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.gdal.org>, свободный. Загл. С экрана.
5. Саммерфилд М. Программирование на Python 3. Подробное руководство. - Пер. с англ. - Спб.: Символ-Плюс, 2009. - 608 с, ил.

УДК 004.896; 004.93'11

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

А.С. Богданов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, asbogdanov62@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматриваются искусственные нейронные сети, их применения для решения задач распознавания образов и преимущества по сравнению с классическими алгоритмами.

Ключевые слова: нейронные сети, распознавание образов.

USE OF NEURAL NETWORKS TO SOLVE THE IMAGE RECOGNITION PROBLEMS

A.S. Bogdanov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, asbogdanov62@gmail.com*

The summary. The paper discusses artificial neural networks, their applications for solving image recognition problems, and advantages over classical algorithms.

Keywords: neural networks, image recognition.

Искусственная нейронная сеть представляет собой математическую модель, а также ее программную и аппаратную реализацию, построенную по принципам, схожим с сетями нервных клеток живых организмов, их организации и функционирования, но не полностью повторяет их свойства и функции. Интерес к нейронным сетям постепенно растет. Их применяют в различных областях – экономике и бизнесе, медицине и здравоохранении, связи, робототехнике, обработке информации, георазведке, автоматизации [1]. Однако нейронные сети не являются универсальным средством, и для решения различных задач могут потребоваться сети с различной архитектурой и свойствами.

Нейронная сеть представляет собой совокупность отдельных нейронов, связанных и взаимодействующих между собой. Каждый отдельный нейрон работает только с сигналами, которые он получает, и сигналами, которые он передает. Один нейрон может выполнять только простейшие вычисления, но будучи объединенными в сеть, они могут выполнять гораздо более широкий круг задач. Основные функции нейронной сети обеспечиваются не отдельными нейронами, а связями между ними. Такие системы позволяют решать гораздо большее количество задач, например, задачи кластеризации и классификации, прогнозирование и регрессионный анализ, поиск информации, анализ эффективности. Однако нейронные сети не подходят для решения задач, в которых требуются точные математические расчёты или промежуточные результаты. Также нейронные сети не являются универсальным средством, и для решения различных задач могут потребоваться сети с различной архитектурой и свойствами.

Одной из задач, для решения которой использование нейросетей позволяет получить результат с меньшей ошибкой и большим быстродействием по сравнению с классическими алгоритмами – распознавание образов, например, распознавание объектов на спутниковых снимках, так как задачи классификации плохо алгоритмируются. Автоматическое распознавание объектов по аэрофотоснимкам – это наиболее перспективный способ картографирования [2].

Простейшая нейронная сеть – однослойный перцептрон (рис. 1). В его основе лежит модель восприятия информации мозгом. Часть однослойного перцептрона соответствует модели искусственного нейрона [3].

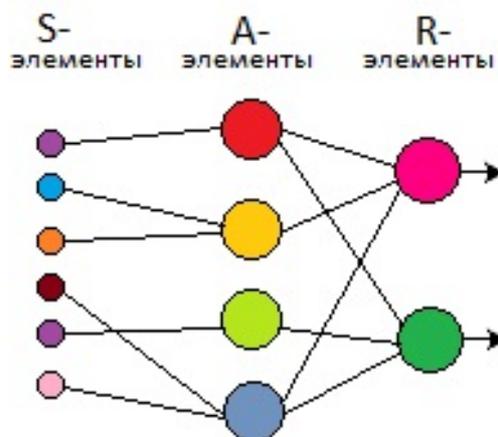


Рис. 1. Структура однослойного перцептрона

Однослойный перцептрон используется для разделения входных сигналов на два класса, поэтому может решать ограниченный круг задач. Многослойные перцептроны, нейронные сети Хопфилда, сети Ворда и карты Кохонена позволяют решать более широкий круг задач. Под многослойным перцептроном (рис. 2) понимают два разных вида: многослойный перцептрон по Розенблатту и многослойный перцептрон по Румельхарту.

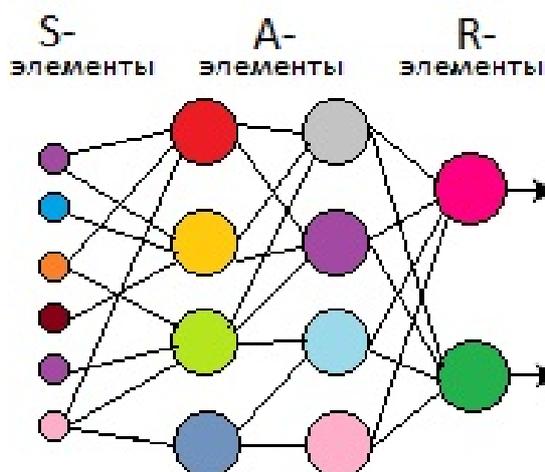


Рис. 2. Структура многослойного перцептрона

Многослойный перцептрон по Розенблатту содержит более 1 слоя А-элементов.

Многослойный перцептрон по Румельхарту является частным случаем многослойного перцептрона по Розенблатту, с двумя особенностями: связи между входными S-элементами и A-элементами могут иметь произвольные веса и обучаться наравне со связями между внутренними слоями A-элементов и выходным слоем R-элементов. Обучение производится по специальному алгоритму, который называется обучением по методу обратного распространения ошибки.

При построении многослойного перцептрона необходимо определить признаки, передаваемые в качестве входного вектора, чтобы их совокупность однозначно определяла необходимый выходной результат, и выбрать выходной вектор так, чтобы он полностью содержал решение поставленной задачи, выбрать функцию активации, количество слоев и нейронов в них, установить начальные значения весов связей между слоями, обучить

нейросеть с помощью обучающей выборки для достижения минимальной ошибки. Также изменение количества скрытых слоев и нейронов влияет на скорость обучения сети. Их значения нужно выбирать экспериментально для достижения необходимой точности и времени обучения. Для проверки работы обученной сети необходима тестовая выборка исходных данных с известным правильным набором выходных сигналов.

Одним из основных критериев оценки работы алгоритма является его быстродействие. Классические алгоритмы для классификации образов являются сложными с большим количеством последовательных вычислений, что сильно уменьшает скорость их выполнения. Нейросеть выполняет параллельную обработку данных, нейроны внутри слоя работают одновременно, благодаря чему обеспечивается быстродействие.

Нейронная сеть реагирует на предъявляемые ей входные сигналы и обучается для вывода необходимых результатов. После обучения сеть при незначительных изменениях входного сигнала не меняет выводимый результат, что позволяет получать правильный результат при небольших искажениях исходной информации, например, при распознавании образов на зашумленных или искаженных изображениях [4].

Если несколько нейронов также будут работать неправильно, то сеть все равно продолжит корректно функционировать, но с меньшей точностью. Традиционные алгоритмы требуют дополнительной проверки входных данных, так как наличие неверных или лишних данных может привести к непредсказуемому результату или к выходу системы из строя. Также классические алгоритмы могут требовать предварительной обработки изначальных данных, например, фильтрацию зашумленных изображений [5].

Также нейронные сети позволяют решать задачи при неизвестных закономерностях благодаря обучению. В случае, если неизвестны зависимости между входными и выходными данными, закономерности развития ситуации, традиционные математические методы неприменимы. Обучение также избавляет от необходимости определять ключевые признаки и их значимости относительно друг друга. Однако выбор представления входных данных влияет на точность работы сети.

Для решения задачи выделения контуров зданий на аэрофотоснимках был выбран многослойный перцептрон. Большие изображения можно обрабатывать с помощью скользящего окна. Для выбранного размера окна задается шаг и выполняется поэтапная обработка изображения. Участок, находящийся в данной области, необходимо передать на вход нейросети. Для участка размером 128x128 пикселей необходима сеть, имеющая 16384 входов. Количество нейронов в скрытых слоях должно сильно превышать количество входов. В случае, если в первом скрытом слое будет 150000 нейронов, во втором – 70000, а количество выходов будет равным 140 для того, чтобы передавать на выход координаты 10 углов найденного здания в двоичном коде, то общее количество связей будет равно 23457600000. Для каждой из этих связей при обучении необходимо вычислять градиент ошибки, что будет требовать большой вычислительной мощности и временных затрат. Поэтому необходимо предварительно выполнить операцию матричной свертки. Для этого было выбран размер матрицы 8x8. Тогда размер полученного изображения будет 16x16 и будет необходима сеть с 256 входами. Для вывода координат Для определения координат 10 углов здания необходимо 40 выходов. В данной работе использовался много слойный перцептрон с 2 скрытыми слоями: 2560 нейронов в первом слое и 1280 – во втором (рисунок 3). Общее количество связей в такой сети равно 4021760, что в 3223 меньше, чем в случае передачи изображения без предварительной обработки с помощью матричной свертки.

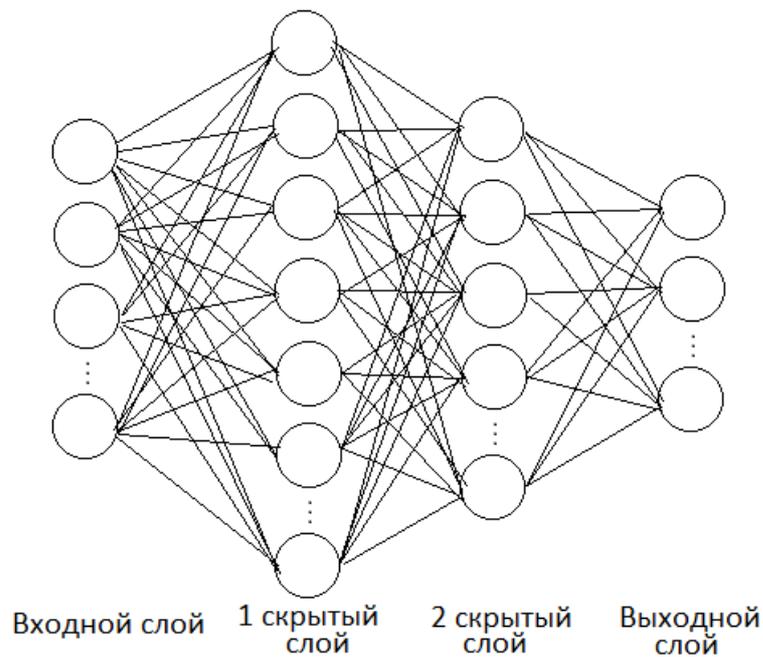


Рис. 3. Архитектура выбранного перцептрона

Для обучения использовались изображения с выделенными контурами зданий, затем выполнялась проверка на тестовых изображениях. Структура программы представлена на рисунке 4.



Рис. 4. Структурная схема программы

Результат работы на тестовом изображении представлен на рисунке 5. Полученные координаты углов зданий были соединены линиями.



Рис. 5. Выделение зданий на изображении с помощью многослойного перцептрона

Возможны различные методы улучшения точности выделения зданий – изменение количества скрытых слоев и нейронов в них, большее количество данных в обучающей выборке. С помощью векторизации полученных координат углов зданий возможно автоматическое получение карты. Для автоматического картографирования также необходимо выделение других объектов, таких как леса, водоемы, дороги и т.д. Для этого также можно использовать многослойный перцептрон с другими входными и выходными параметрами, обучив его с помощью другой выборки.

Нейронные сети имеют ряд достоинств, по сравнению с классическими алгоритмами, среди них устойчивость к шумам входных данных, отказоустойчивость, обучаемость, высокое быстродействие. Для некоторых задач не найдены оптимальные способы решения с помощью классических алгоритмов, и использование нейросетей позволяет их решать. Поэтому использование нейронных сетей считается актуальным в настоящее время.

Библиографический список

1. Горбачевская Елена Николаевна, Краснов Станислав Сергеевич. История развития нейронных сетей. // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. –2015.
2. Акинин М.В., Акинина Н.В., Никифоров М.Б., Соколова А.В., Таганов А.И. Нейросетевой метод оперативного картографирования с использованием беспилотного летательного аппарата. // Динамика сложных систем - XXI век № 2 (2015). - Москва: Радиотехника. - 2015. - с. 9 - 14.
3. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. – Вильямс, 2016. – 1104с.
4. Плотников Д.В. Вычислительный интеллект в задаче распознавания образов. // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2017.
5. Акинина Н.В., Бычкова Н.А., Клочков А.Я. Нейросетевые методы анализа главных компонент в задачах обработки данных дистанционного зондирования Земли. // Известия Юго-Западного государственного университета № 6 (51), часть 2. - Курск: Юго-Западный государственный университет. - 2013. - с. 69 — 76.

УДК. 621.372.8.049.75; ГРНТИ 47.01.11

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ МИКРОВОЛНОВЫХ УСТРОЙСТВ

Е.П. Васильев

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, evasiliev48@mail.ru*

Аннотация. В статье проводится сравнительный анализ электродинамических методов, внедренных в современные САПР СВЧ. Дается качественная оценка методам моделирования при решении различных проектных задач. Рассматривается пример использования схмотехнических и электродинамических методов моделирования при разработке приемопередающего модуля для летательных аппаратов.

Ключевые слова: электродинамические методы, САПР СВЧ, моделирование, микроволновые устройства, приемопередающий модуль.

ANALYSIS OF ELECTRODYNAMIC METHODS OF MODELING MICROWAVE DEVICES

E.P. Vasiliev

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, horek.colupaeva@yandex.ru*

The summary. A comparative analysis of electrodynamic methods implemented in modern CAD systems of microwave is carried out.

is given to modeling methods for solving various design problems. An example of using circuit and electrodynamic modeling methods in the development of a transceiver module for aircraft is considered.

Keywords: electrodynamic methods, CAD microwave, modeling, microwave devices.

Тенденции развития современной микроволновой техники

Диалектика развития методов и средств проектирования устройств и систем СВЧ диктуется всё возрастающими требованиями к основным показателям качества: классификационным, эксплуатационным, конструктивным, показателям надёжности, технологичности. Решение данной проблемы не возможно без применения систем автоматизированного проектирования, математическое обеспечение которых находится в постоянном диалектическом развитии, направленном на повышение точности решения проектных задач с наименьшими экономическими затратами, что требует совершенствования математических моделей базовых элементов и радиотехнических систем, реализуемых многовариантной комбинацией канонических цепей и трехмерных объектов в зависимости от многогранных технических требований к изделию.

Выделим три направления развития микроволновой техники (по типам устройств): пассивные устройства и элементы, активные устройства и функциональные устройства. В свою очередь, данные устройства можно классифицировать по методам конструктивно-топологической реализации. Появление новых материалов, полупроводниковых и гетероструктур [1-3], способствовало развитию схемо-топологических решений и подходов к структурному построению микроволновых систем [4,5]. При этом наиболее наукоемкой проблемой, которая априори постоянно актуальна, является создание адекватных физическим объектам математических моделей.

Цель работы. Рассмотреть некоторые общие вопросы современных подходов к моделированию микроволновых устройств. Оценить эффективность применения методов схмотехнического и электродинамического моделирования при проектировании приемопередающего модуля L-диапазона.

Вычислительные методы электродинамики

Выделим математические методы, которые получили алгоритмическую реализацию и широко используются в современных САПР СВЧ [6-9]: методы на основе теории схем (схемотехнические), МоМ (Method of Moments) – метод моментов; FEM (Finite Element Method) – метод конечных элементов; МоМ/FEM – гибридный метод моментов/конечных элементов; UTD (Unitform Theory of Diffraction) – метод однородной теории дифракции; GTD (Geometrical Theory of Diffraction) – метод геометрической теории дифракции; FDTD (Finite Difference Time Domain) – метод конечных разностей во временной области; FIT (Finite Integration Technique) – метод конечных интегралов.

При практическом использовании приведенных методов возникает ряд проблем: ошибки интерполяции, сходимость и фиктивные решения. Погрешность методов обусловлена в основном двумя причинами: а) заменой дифференциальных уравнений конечно-разностными, приводящей к ошибкам при определении искомых функций в узловых точках; б) отличием в построении интерполирующих и искомых функций, несмотря на точное определение потенциальных функций в узлах сетки. При этом не только шаг и вид сетки, но и характер анализируемого поля влияет на точность.

В большинстве приведенных методов рассматриваемые конструкции разбиваются на частичные области, при этом решение ищется в виде интегралов или рядов функции которых удовлетворяют уравнению Гельмгольца.

FEM – метод состоит из следующих шагов: переход к эквивалентной вариационной задаче; разбиение области решения на конечные элементы (кубы, тетраэдры); определение интерполяционных функций, определяющих свойства решения; сведение алгоритма решения к системе линейных алгебраических уравнений.

Исключив из первого и второго уравнения Максвелла в комплексной форме [10] напряженность магнитного поля, получим дифференциальное уравнение второго порядка:

$$\Delta \times (\mu^{-1} \Delta \times \bar{E} - k_0^2 \varepsilon \bar{E}) = -ikZ_0 \bar{J},$$

где $k_0 = \omega \sqrt{\varepsilon \mu} / c$ – волновое число;

$Z_0 = \sqrt{\mu_0 / \varepsilon_0}$ – характеристическое сопротивление свободного пространства;

c – скорость света в вакууме;

\bar{J} – комплексный вектор плотности тока;

ε, μ – относительные комплексная диэлектрическая и магнитная проницаемости.

Комплексная амплитуда вектора напряженности электрического поля \bar{E} в каждой области конечного элемента представляется в виде разложения:

$$\bar{E}^{(k)} = \sum_{i=1}^N a_i^{(k)} \bar{w}_i^{(k)},$$

где k – номер элемента;

$\bar{w}_i^{(k)}$ – векторные базисные функции;

$a_i^{(k)}$ – неизвестные коэффициенты разложения.

Выбор базисных функций осуществляется исходя из требований к решению. В соответствии с граничными условиями, задача сводится к системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) относительно неизвестных коэффициентов разложения. Модификация и название численного электродинамического метода, зачастую, и определяется способом

сведения к СЛАУ.

Суррогатное (замещающее) моделирование

Суррогатное моделирование применяется в различных областях науки и техники [11] и, в частности, в последнее десятилетие получило развитие для микроволновых устройств и систем различного назначения [12-15]. Это обусловлено значительным повышением размерностей математических моделей. Комплексный подход к процессу разработки изделий, с учетом появления новых материалов и технологий, потребовал не только усовершенствования математических моделей, но и алгоритмов для микроволновых САПР. Это в свою очередь привело к проблемам связанным с необходимостью снижения временных (экономических) затрат на разработку при сохранении достаточной для практики точности моделей. Отсюда вытекает задача создания суррогатной модели, которая зачастую сталкивается со сложностью получения значительного объема экспериментальных данных. В микроволновой технике на базе современных САПР, имеется возможность для получения статистической информации об изделии воспользоваться схмотехническим (приближенная модель) и электродинамическим моделированием (ЕМ-моделирование; точная модель) [16-18]. Затем осуществляется обработка массива точных данных с использованием различных алгоритмов, с целью получения приближенной аппроксимирующей модели исследуемого объекта.

Результаты эксперимента

Рассмотренные методы компьютерного моделирования использованы при разработке микроволнового примопередающего модуля для летательных аппаратов (рис. 1) [19].

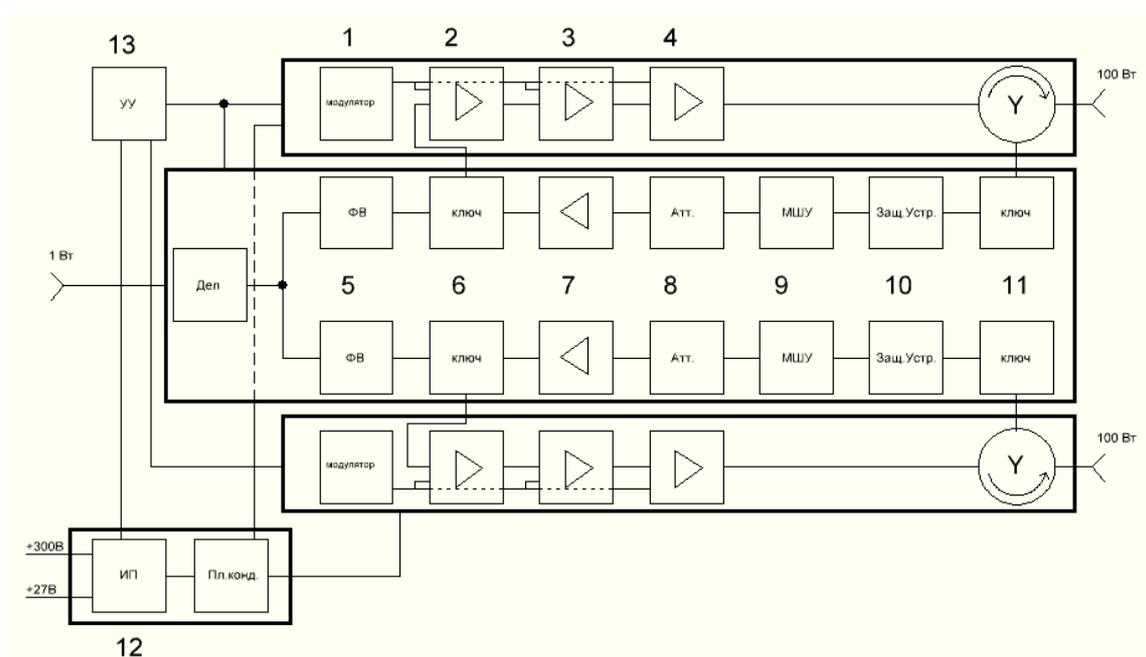


Рис. 1. Блок-схема микроволнового примопередающего модуля

Двухканальный передающий submodule состоит из модулятора (1), усилителей мощности (2, 3, 4), фазовращателя (5) общего для двух каналов, циркулятора.

Приемные каналы включают: ключ (11), защитное устройство (10), малошумящий

усилитель (9), аттенюатор (8), усилитель мощности (7), ключ (6), фазовращатель (5).

Делитель обеспечивает деление-суммирование мощности с переходным ослаблением 3 дБ. Питание модуля обеспечивается с широтной импульсной регулировкой (12). Устройство управление (13) выполняет функции контроля и управления устройствами модуля с выдачей контрольных сигналов исправности изделия. Выходная мощность по двум каналам составляет порядка 100 ватт.

В таблице 1 приведены экспериментальные данные, где ($P_{и}$ — импульсная выходная мощность, $K_{ш}$ — коэффициент шума приемника, $K_{у}$ — коэффициент усиления приемника).

Таблица 1. Основные параметры приемопередающего модуля

№ Поддиап.	Прием/передача, мГц	$P_{и}$, Вт	$K_{ш}$, дБ	$K_{у}$, дБ	Длит. (мкс)/ Скважн. имп
1	1090 ± 0.5/1030 ± 0.2	80	5	≥ 21 ± 1	0.8/ ≥ 10
2	1458-1470/1532	100	5	≥ 21 ± 1	0.5/ ≥ 10
3	1100-1450/1100-1450	100	5	≥ 21 ± 2	1/ ≥ 10

Моделирование функциональных устройств модуля проводилось САПР Microwave Office с использованием схемотехнических методов и пакетов электродинамического моделирования EMSight и AxiEM. Результаты исследований показали, что точность совпадения теоретических и экспериментальных данных не превышает 18%.

Заключение

Методы схемотехнического и электродинамического моделирования являются наиболее наукоемкой частью САПР СВЧ. При этом необходимо отметить:

1. Погрешность метода схемотехнического моделирования может достигать 20%.

Методы 2.5D и 3D EM-моделирования MoM, FEM и FDTD позволяют получить высокую точность совпадения теоретических и экспериментальных данных (единицы процентов). Вычислительная MoM программа требует более внимательного контроля при наложении сетки, при этом процесс сходится гораздо быстрее при использовании функции Грина, когда подложка имеет бесконечно протяженные размеры.

Адаптивное наложение сетки в методе FEM, позволяет лучше отслеживать индуктивные связи в трехмерной модели в автоматическом режиме.

2. Проблема допустимого упрощения моделей может решаться, методами суррогатного моделирования, который использует, в частности, метод нейронных сетей и базируется на матрице выходных характеристик устройства, полученной схемотехническими или электродинамическими методами.

3. На этапе компьютерного моделирования проведена оптимизация параметров функциональных устройств приемопередающего модуля L-диапазона, что позволило повысить эффективность проектирования. Погрешность совпадения теоретических и экспериментальных данных не превышает 18%.

Библиографический список

1. Васильев А., Данилин В., Жукова Т. Новое поколение полупроводниковых материалов и приборов. // Электроника. Наука. Технология. Бизнес. – 2007. – № 4. – С. 68 – 76.
2. Колотун О. Передовые технологии производства СВЧ-транзисторов компании "Integra Technologies, Inc." для радарных систем. // Chip News Украина. – 2010. – № 8. – С. 8 – 16.

3. Алексеев А., Красовский Д., Петров С., Чалый В. Многослойные гетероструктуры AlN/AlGaIn/GaN/AlGaIn – основа новой компонентной базы твердотельной СВЧ-электроники. // Компоненты и технологии. – 2008. – № 2. – С. 138 – 142.
4. Гвоздев В.И., Петров А.С. Концептуальная систематика микроволновых фильтров (ОБЗОР). // Микроэлектроника. – Т. 25, № 5. – С. 323 – 338.
5. Петров А.С. Планарные фильтры СВЧ. Состояние разработок и концепции развития. // Успехи современной радиоэлектроники. – 1997. – № 6. – С. 40 – 51.
6. Silvester P.P., Ferrari R. L. Finite Elements for Electrical Engineers, 3rd Edition. – New York: Cambridge University Press. – 1996.
7. Моррис Д. Моделирование электромагнитных полей – как выбрать лучший метод // Электроника. Наука. Технология. Бизнес. – 2003. – №3. – С. 124 – 129.
8. Гринев А.Ю., Гиголо А.И. Математические основы и методы решения задач электродинамики: учеб. пособие. М: Радиотехника. 2015. – 216 с.
9. Васильев Е.П., Севостьянов В.А. Конечно-разностная аппроксимация квазистатической обобщенной модели волноведущей структуры // Электронная техника: меж. вуз. сб. науч. тр. Рязанской государственной радиотехнической академии. – 1999. – С. 40 – 43.
10. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн. Учебное пособие. – М.: Наука. – 1978. – 544 с.
11. Гарифуллин М.Р., Наумова Е.А, Жувак О.В., Барабаш А.В. Суррогатное моделирование в строительстве. // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 2 (41). – С. 119 – 125. 12.-17.
12. Zhang Q.J., Gupta K.C. Neural networks for RF and microwave design. – Artech House. Norwood. MA. – 2000.
13. Antonini G., Orlandi A. Gradient evaluation for neural-networks-based electromagnetic optimization procedures // IEEE Trans Microwave Theory Tech. – V.48, – №5. 2000. – PP. 874 – 876.
14. Devabhaktuni V.K., Zhang Q.J. Neural network training-driven adaptive sampling algorithm for microwave modeling // Proc 30th European Microwave Conf, Paris, France, Oct. – 2000. – PP. 222 – 225.
15. Васильев Е.П., Орешков В.И., Иванов М.А. Моделирование сложных радиоэлектронных систем на основе интеллектуальных методов анализа данных // Фундаментальные исследования. – Издательский Дом Академия Естествознания (Пенза) ISSN: 1812-7339. – 2014. – № 8-3. – С. 559 – 564.
16. Банков С.Е., Курушин А.А. Электродинамика и техника СВЧ для пользователей САПР: М. – 2008. – 276 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/library/3/text.pdf>. (Дата обращения: 25.10.2018).
17. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office. / Под ред. В.Д. Разевига. – М.: СОЛОН-Пресс. – 2003. – 496 с.
18. Банков С.Е., Курушин А.А., Разевиг В.Д. Анализ и оптимизация трехмерных СВЧ-структур с помощью HFSS. / Под ред. Банкова С.Е. Изд. 2-е, дополненное – М.: СОЛОН-Пресс. – 2012. – 216 с.
19. Иванов М.А. Модуль управления и контроля информационно-измерительных систем авионики // Вестник РГРТУ. – 2016. – № 58. – С. 140 – 144.

УДК 528.88; ГРНТИ 10.53.28

ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПОДХОД К ЗАДАЧЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

А.В. Курагин, А.Н. Колесенков, А.И. Таганов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, sk62@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются методы и алгоритмы дистанционного экологического мониторинга объектов и территорий на основе генетических подходов. Приводятся их особенности, достоинства и недостатки рассматриваемых методов, оценка риска наступления чрезвычайных ситуаций. Представлено краткое описание разработанного программного модуля прогнозирования динамику изменений ключевых параметров экосистем на основе данных ДЗЗ.

Ключевые слова: экологический мониторинг, генетический алгоритм, эволюционный подход, ДЗЗ, аэрокосмические изображения.

EVOLUTIONARY APPROACH TO THE PROBLEM OF REMOTE ECOLOGICAL MONITORING OF DANGEROUS OBJECTS

A.V. Kuragin, A.N. Kolesenkov, A.I. Taganov

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, sk62@mail.ru

The summary. The paper deals with methods and algorithms of remote environmental monitoring of objects and territories on the basis of genetic approaches. Their features, advantages and disadvantages of the considered methods, risk assessment of emergency situations are given. A brief description of the developed software module for forecasting the dynamics of changes in key parameters of ecosystems based on remote sensing data is presented.

Keywords: environmental monitoring, genetic algorithm, evolutionary approach, remote sensing, aerospace images.

Экологические проблемы являются одними из самых важных в современном мире. Экологические факторы природного и техногенного характера приводит к разрушениям, неблагоприятным последствиям для окружающей среды и финансовым потерям. Поэтому задача разработки новых методов и алгоритмов обработки данных является актуальной для задач экологического мониторинга опасных объектов и территорий. Целесообразным является применение этих методов совместно с обработкой данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Среди методов экологического мониторинга можно выделить дистанционные и наземные [1]. Дистанционные включают:

- методы наблюдения посредством данных дистанционного зондирования Земли с целью идентификации катастроф, изменений на водных объектах и т.д.;
- методы наблюдения посредством авиации с целью нахождения локальных изменений, выявления источников воздействия на конкретную территорию.

Наземные методы включают:

- методы биологического наблюдения с целью выявления изменений в растительном мире;
- методы химического наблюдения посредством применения химических средств.

С точки зрения развития геоинформационных технологий наиболее эффективными являются методы, основанные на анализе и обработке данных ДЗЗ [2].

В данной работе рассматривает технология экологического мониторинга опасных объектов и территорий на основе генетических подходов к обработке аэрокосмических снимков. Разработанная технология позволяет осуществлять мониторинг экосистем, включая оценку и прогнозирование состояния наблюдаемого объекта или территории под воздействием неблагоприятных факторов, поиск источников загрязнения, контроль вредных выбросов, мониторинг природных ресурсов [3, 4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации и Совета по грантам Президента Российской Федерации (грант № СП-3912.2018.3).

Цель работы - информационная поддержка процедур принятия управленческих решений в области мониторинга экологической обстановки, оценке и прогнозированию состояния опасных объектов, учета и использования природных ресурсов.

Задачи работы:

- разработка и исследование инновационных методов дистанционного мониторинга объектов и территорий на основе генетических алгоритмов;
- разработка и исследование алгоритма дистанционной оценки и прогнозирования состояния объектов на основе генетического подхода и данных ДЗЗ;

- разработка алгоритма прогнозирования рисков экологических катастроф на основе логико-вероятностного управления;
- разработка алгоритма классификации объектов на аэрокосмических снимках.

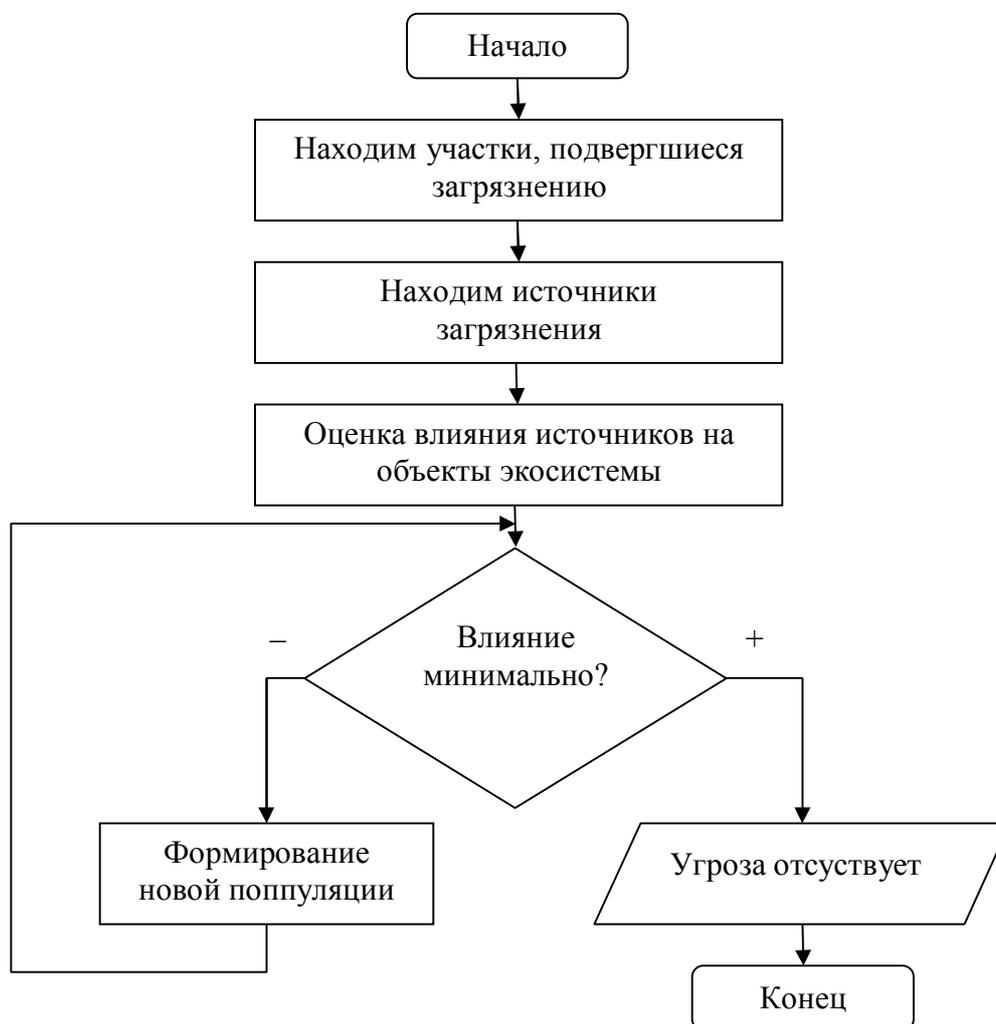


Рис. 1. Блок-схема генетического алгоритма экологического мониторинга

Для выполнения поставленных задач предлагается использовать методы адаптивной генетической обработки данных ДЗЗ и методы сегментации изображений [5, 6].

Для проведения экспериментальных исследований применяются аэрокосмические снимки, полученные со съемочной аппаратуры коптера и космические снимки, полученные с помощью российских космических аппаратов.

Особое внимание уделяется эволюционному моделированию, включающему применение генетических алгоритмов в задачах экологического мониторинга опасных объектов и территорий [7].



Рис. 2. Исходный космический снимок морского побережья

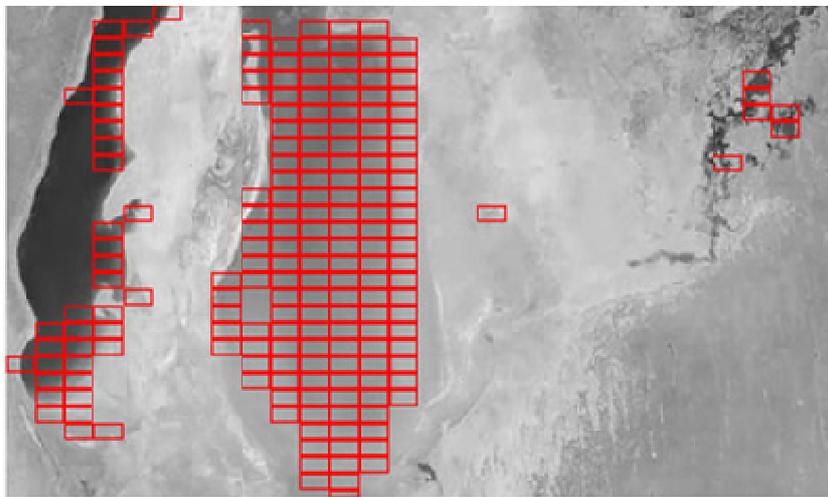


Рис. 3. Результаты работы генетического алгоритма

Общая схема предлагаемого генетического алгоритма экологического мониторинга (рис. 1) состоит из пяти шагов. Исходные данные – некоторая экологическая система.

Шаг 1. Выявляем участки, подвергшиеся воздействию экологических факторов.

Шаг 2. Выделяем источники воздействия на экосистему.

Шаг 3. Определяем степень влияние каждого источника загрязнения на каждый объект экосистемы.

Шаг 4. Вычисляем суммарное влияние всех источников на экосистему.

Шаг 5. Если влияние на экосистему минимально, то завершаем алгоритм, иначе создаем новую популяцию посредством операторов «селекции», «скрещивания» и «мутации», после чего осуществляем переход к шагу 3.

В результате проведения теоретических и экспериментальных исследований выполнен анализ экологических факторов на примере объектов и территорий Рязанской области, представляющих опасность природного и техногенного характера; сделана оценка рисков экологических воздействий на исследуемой территории [8].

В результате выполнения работы разработан и зарегистрирован в Роспатент программный модуль, который позволяет прогнозировать динамику изменений ключевых параметров экосистем, производить оценку взаимодействия экосистемы с окружающей средой.

Библиографический список

1. Газизов Т.Т. Моделирование систем // Томск: ТГПУ, 2015. 230 с.
2. Чернявский Г.М. Перспективы космического мониторинга земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. Т.1. С.39-46.
3. Таганов А.И. Анализ и классификация рисков проекта методами нечеткой кластеризации // Информационные технологии моделирования и управления. 2010. № 4 (63). С. 455-461.
4. Костров Б.В., Саблина В.А. Адаптивная фильтрация изображений со структурными искажениями // Цифровая обработка сигналов. 2008. № 4. С. 49-53.
5. Фетисов Д.В., Колесенков А.Н. Увеличение пространственного разрешения аэрокосмических снимков с использованием субпиксельной обработки // Сборник трудов международной научно-технической и научно-методической конференции «Современные технологии в науке и образовании». СТНО-2018 – Рязань, 2018г. С.220-225.
6. Колесенков А.Н. Технология поддержки принятия управленческих решений на основе оперативного мониторинга пожарной обстановки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. № 9. С. 157-163.
7. Фетисов Д.В., Колесенков А.Н. Спектральный анализ аэрокосмических изображений в системах мониторинга недропользования // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2017 сборник трудов II Международной научно-технической и научно-методической конференции: в 8 т.. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2017. С. 172-175.
8. Конкин Ю.В., Колесенков А.Н. Распознавание изображений на основе текстурных признаков харалика и искусственных нейронных сетей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 2. С. 117-123.

УДК 553.05; ГРНТИ 37.01.85

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МЕТЕОСТАНЦИЙ ПО СБОРУ ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

М.С. Южаков

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Российская Федерация, Томск, miha.yuzhakov@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматривается перспектива создания автономной компактной легко повторяемой метеостанции. Приводятся её основные технические особенности, описаны достоинства и недостатки, а также принципы сбора и обработки климатических данных.

Ключевые слова: климат, Сибирь, метеостанция, исследование климата, автоматизация

CREATING A SYSTEM OF AUTOMATED WEATHER STATION TO COLLECT ENVIRONMENTAL PARAMETERS

M.S. Yuzhakov

*National research Tomsk state university,
Russian Federation, Tomsk, miha.yuzhakov@gmail.com*

The summary. The paper discusses the prospect of creating an autonomous compact easily repeatable weather station. Its main technical features are presented, the advantages and disadvantages, as well as the principles of collecting and processing climate data are described.

Keywords: climate, Siberia, weather station, research of climate, automation.

Климат всегда воздействовал не только на деятельность человека, но и на естественные процессы в природе, такие как изменения количества осадков, популяций видов, ландшафта и т.д.

Например, при увеличении температуры окружающей среды на 1-3,5°C произойдёт смещение изотерм по широте на 150-550 километров в сторону полюсов и повлечёт за собой перемещение растительности. То есть, флора и фауна отстанут от того климата в котором они развивались. Последствием этого станет то, что растительность не будет успевать

приспосабливаться к новому климату и некоторые виды вымрут. Также следует отметить, что разные экосистемы будут перемещаться с разной скоростью, вследствие чего будут формироваться новые комбинации видов, возникать новые экосистемы. Например, леса умеренного пояса могут потерять большую часть деревьев, что соответственно повлечёт за собой изменение ландшафта [1].

На данный момент особое внимание уделяется вопросам трансформации биоты и ландшафтов в результате изменений климата в современных условиях и в ретроспективе. То есть, главной задачей является наблюдение и оценка изменений климата в течении некоторого промежутка времени. Важно отметить, что необходима не точность измерения, а динамика изменения отдельных параметров окружающей среды на больших площадях[2]. А для такой обширной задачи необходимо своеобразное техническое решение.

Для наблюдения за состоянием климата предлагается использовать комплекс метеостанций, располагающихся на соответствующей территории. Необходимо спроектировать надёжную, легко повторяемую и приемлемую по техническим параметрам метеостанцию.

Под метеостанцией подразумевается комплекс устройств, который выполняет следующие функции: сбор, обработку и резервирование информации об окружающем климате, а также имеет возможность автономной работы на протяжении нескольких месяцев или даже лет.

Метеостанция должна измерять: температуру окружающей среды, температуру почвы, давление, влажность, освещенность и главное уровень CO₂ [3]. Стоит отметить, что стоимость аналогичных по характеристикам метеостанций, предлагаемых рынком, на порядок выше разрабатываемой метеостанции. Например, стоимость логгера температуры KestrelDROP1 - 5000 рублей[4]. Предлагаемое техническое решение для метеостанции имеет себестоимость в 3 раза меньше. Подобные проекты уже реализовывались, но для работы в комнатных или лабораторных условиях[5]. Рассмотрим подробнее каждый из аспектов такого комплекса (рис. 1).

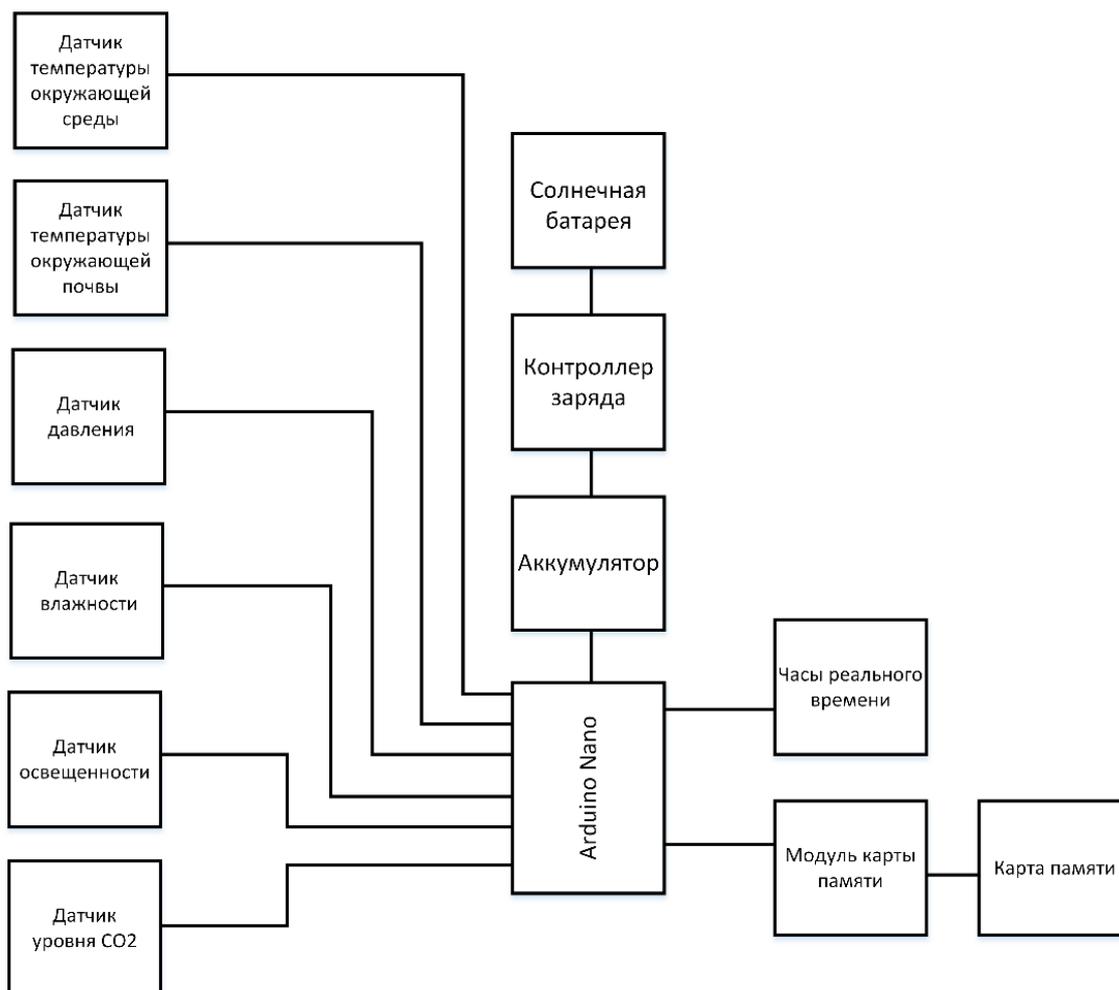


Рис. 1. Блок-схема автономной метеостанции

Система сбора данных

Система сбора данных включает в себя датчики и линии связи с микроконтроллером. К комплектующим системы предъявляются следующие требования: датчики и линии связи должны исправно работать при температуре от -40 до $+40^{\circ}\text{C}$, в условиях различного рода осадков (дождь, снег, град) и при прочих погодных аномалиях, срок службы датчиков в нормальных условиях эксплуатации должен быть не менее года, датчики должны обладать достаточной точностью.

В систему сбора информации включены датчик температуры окружающей среды, датчик температуры почвы, датчик влажности окружающей среды, датчик атмосферного давления, датчик освещенности, датчик уровня углекислого газа. В качестве датчика температуры почвы был выбран датчик DS18B20. Для измерения температуры окружающей среды были выбраны три датчика: DS18B20, ВМЕ280 и датчик температуры часов реального времени DS3231, для предлагается использовать датчик HTU21 от Швейцарской фирмы "TE Connectivity". Измерение интенсивности света будет осуществляться посредством датчика BH1750FVI Японской фирмы «ROHM Semiconductor». Для измерения уровня углекислого газа используется датчик MH-Z19. Ниже приведена таблица с основными характеристиками приведенных датчиков (таблица 1).

С помощью часов реального времени ZS-042 устанавливается период сбора данных. Спустя один период производится снятие показаний каждого датчика, данные отправляются

в систему обработки и резервирования.

Таблица 1. Характеристики датчиков [6-11]

Наименование датчика	Производитель	Диапазонизмерения	Точность	Эксплуатационные характеристики	Измеряемый параметр
DS18B20	Maxim Integrated (США)	-55...+125 °C	±0,5 °C (-10...+85 °C)	-55...+125 °C 0...100 %RH	Температура
BME280	Bosch Sensoritec (Германия)	-45...+85 °C 0...100 %RH 300...1100 гПа	±0,5 °C (25 °C) ±3 %RH ±1,0 гПа	-45...+85 °C 0...100 %RH	Температура, давление, влажность
ZS-042	Maxim Integrated	-40...+85 °C	±0,25 °C	-40...+85 °C	Температура
HTU21	TE Connectivity Sensors (Швейцария)	-10...+85 °C 0-80 %RH	±0,4 °C ±3 %RH	-40...+125 °C 0-100 %RH	Температура, влажность
GY-302	ROHM Semiconductor (Япония)	1-65535 лк	±3 лк	-40...+85 °C	Освещенность
MH-Z19	Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co (Китай)	0-2000 ppm	±50 ppm	0-50 °C 0-95 %RH	Уровень углекислого газа

Система обработки и резервирования данных

Данные с датчиков обрабатываются с помощью соответствующих библиотек и поступают на носитель уже в понятном пользователю виде.

Так как данный комплекс метеостанций должен работать на протяжении длительного времени необходима система записи и сохранения данных, чтобы исключить их утерю, например, в случае отказа системы передачи данных. Для реализации такой системы используется модуль micro-SD карты и произвольная карта памяти размером не более 512 Мб. После каждого сбора данных система записывает показания с датчиков в таблицу Excel, указывая тип собранных данных и время записи данных с точностью до секунд. Пример таблицы показан на рис. 2.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Time, hh:mm:ss	Temp1, C	Temp2, C	Hum., %RH	Pressure, hPa	CO2	Brightness,lx
2	19:51:12	t1	t2	h	p	lv	b
3	20:01:12	t1	t2	h	p	lv	b
4	20:11:12	t1	t2	h	p	lv	b
5	20:21:12	t1	t2	h	p	lv	b
6	20:31:12	t1	t2	h	p	lv	b
7	20:41:12	t1	t2	h	p	lv	b
8	20:51:12	t1	t2	h	p	lv	b
9	21:01:12	t1	t2	h	p	lv	b
10	21:11:12	t1	t2	h	p	lv	b

Рис. 2. Пример структуры таблицы с климатическими данными

Каждые сутки создается новый файл в названии которого указывается дата. Для хранения данных выбран именно Excel, т.к. в нем легко найти нужное время с помощью

встроенной функции поиска.

Библиографический список

1. Katsuta N. и др. Hydrological and climate changes in southeast Siberia over the last 33 kyr // Glob. Planet. Change. 2018. Т. 164. № February. С. 11–26.
2. Callaghan T. V., Kirpotin S. N., Borilo L.P. Siberian Environmental Change Network - a New and Developing Network for Detecting, Understanding and Predicting Siberian Environmental Change and its Societal Consequences // Eos. 2018. Vol. In press. P. x-xx.
3. Kirpotin S. N., Krickov I.V., Manasyrov R. M., et al. High riverine CO₂ emissions at the permafrost boundary of Western Siberia // Nature Geoscience. 2018. Vol. 11, № 11. P. 825-829.
4. Логгер температуры Kestrel DROP D1 синий [Электронный ресурс] // Метеомастер URL: http://www.meteor-master.ru/products/catalog/meteor-stantsii-kestrel/Logger_temperature_Kestrel_DROP_D1_siniy/ (дата обращения 11.02.19).
5. Применение микроконтроллеров для автоматизированного сбора микроклиматических параметров лабораторий Бадьин А.В., Бердюгин А.И., Выговский В.Ю. Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2016. Т. 16. № 4. С. 84-86.
6. Products M.I. DS18S20 High-Precision 1-Wire Digital Thermometer DS18S20 High-Precision 1-Wire Digital Thermometer Absolute Maximum Ratings // Т. 92. С. 1–21.
7. Bosch Sensortec. BME280 - Combined humidity, pressure and temperature sensor // Datasheet. 2015.
8. Products M.I. DS3231 Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal // 2015. С. 20.
9. Humidity R., Output T.D., Appliance H. HTU21D (F) Sensor Digital Relative Humidity sensor with Temperature output HTU21D (F) Sensor Digital Relative Humidity sensor with Temperature output // 2013. № October. С. 1–21.
10. Voltage C.R. Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC // 2009. № 09046. С. 1–16.
11. Winsen Z., Technology E. Intelligent Infrared CO₂ Module (Model: MH-Z19) User's Manual // 2015.

УДК 520.8; ГРНТИ 28.17.19

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СТОКСА В ПОЛЯРИМЕТРИИ

И.В. Бодрова*, А.О. Бодров**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
**Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Российская Федерация, Рязань, bodrovamilyutina@mail.ru

Аннотация. Предложен алгоритм для вычисления параметров Стокса рассеянного светового потока при фотометрических исследованиях объектов для случая, когда поляризационные элементы расположены перед изучаемым объектом. Произведен расчет четырех компонентов вектора Стокса, а также осуществлена программная реализация предлагаемого алгоритма.

Ключевые слова: параметры Стокса, поляризация, коэффициент поляризации, матрица Мюллера.

ALGORITHM FOR THE CALCULATION OF STOCK PARAMETERS IN POLARIMETRY

I.V. Bodrova*, A.O. Bodrov**

*Ryazan State Radio Engineering University,
**Lomonosov Moscow State University
Russia, Ryazan, bodrovamilyutina@mail.ru

The summary. An algorithm is proposed for calculating the Stokes parameters of the scattered light flux in photometric studies of objects for the case when the polarization elements are located in front of the object under study. The calculation of the four components of the Stokes vector, as well as the software implementation of the proposed algorithm.

Keywords: Stokes parameters, polarization, polarization coefficient, Müller matrix.

Постановка задачи

Как известно, состояние поляризации рассеянного излучения характеризуется вектором Стокса $\vec{S} = (S_0, S_1, S_2, S_3)$. Первый компонент вектора Стокса S_0 характеризует интен-

сивность светового потока [1, 2, 3, 4, 5, 6]. В связи с этим вызывает интерес исследование зависимости параметров Стокса и коэффициента поляризации.

Предлагается алгоритм обработки полученной информации на основе функциональной схемы устройства для измерения интенсивности излучения, рассеянного изучаемым объектом.

Анализируется влияние компонентов вектора Стокса на коэффициент поляризации и проверяется адекватность расчетов.

Параметры Стокса нуждаются в оптимальном усреднении во времени, при этом критерии усреднения выбирались эвристически. Исходными данными для расчета параметров Стокса является интенсивность рассеянного излучения, которая измеряется с помощью устройства, функциональная схема которого показана на рисунке 2.

На поверхность изучаемого объекта падает естественный неполяризованный световой поток. После отражения от поверхности изучаемого объекта световой пучок приобретает некоторую поляризацию, поэтому рассеивающая поверхность может быть представлена в качестве поляризатора светового потока. Для измерения интенсивности излучения и последующего расчета параметров Стокса, наилучшим образом характеризующие поляризационные эффекты, используются фотоприемник, анализатор и модулятор, которые позволяют вычислить необходимые параметры [4, 7]. В качестве базового выбирается подход, основанный на последовательном изменении параметров анализатора и модулятора. Параметрами анизотропии выбраны: ϕ – угол поворота плоскости поляризации, ε – фазовый сдвиг.

Для случая, когда поляризационные элементы расположены между фотоприемником и рассеивающем объектом, целесообразно использовать следующую функциональную схему, которая адаптирована для наблюдения за объектами космического мусора в околоземном пространстве. Данная схема предназначена для измерения интенсивности излучения, расчета параметров Стокса и коэффициента поляризации рассеянного поля. Схема представляет собой фотоприемник рассеянного излучения с расположенными перед ним анализатором и модулятором (рисунок 1). Наблюдения однозначно соответствуют приведенной схеме, на основе которых осуществляются теоретические расчеты и проверяется адекватность экспериментальных данных.



Рис. 1. Функциональная схема устройства для измерения интенсивности рассеянного излучения

Модель отражения светового потока от рассеивающей поверхности

Световой пучок, падающий на объект и рассеянный им, обычно рассматривается как гармоническая волна $E(R,t) = E(R)e^{-i\omega t}$, где $E(R,t)$ – напряженность светового поля в момент времени t и в точке R пространства, ω – частота световой волны.

Будем рассматривать световой пучок в виде тензора светового поля $\Phi = \sum_s E^s E^{*s}$, где

E^s – гармоника с положительной частотой ω , E^{*s} – гармоника с отрицательной частотой, $E = E_x + iE_y$ – некогерентная простая волна с положительной частотой, E_x, E_y – проекции вектора \vec{E} на оси, перпендикулярные направлению распространения световой волны,

$E^* = E_x^* + iE_y^*$ – некогерентная простая волна с отрицательной частотой.

Состояние поляризации светового поля полностью характеризуется параметрами Стокса:

$$\begin{aligned} S_0 &= \langle |E_x|^2 \rangle + \langle |E_y|^2 \rangle; \\ S_1 &= \langle |E_x|^2 \rangle - \langle |E_y|^2 \rangle; \\ S_2 &= 2\operatorname{Re}\langle E_x E_y^* \rangle; \\ S_3 &= 2\operatorname{Im}\langle E_x E_y^* \rangle, \end{aligned}$$

где $\langle \rangle$ – выбранная операция усреднения по времени.

Для естественного неполяризованного света $S_1 = S_2 = S_3 = 0$, следовательно, нормированный вектор Стокса для естественного света рассматривается как $\bar{S} = (1, 0, 0, 0)$.

В соответствии с предлагаемой функциональной схемой регистрации изучаемых параметров составлено матричное уравнение, его параметры подобраны под данную конкретную задачу:

$$S = R(\theta_2)MR(\theta_1)S',$$

где S' – вектор-столбец Стокса падающего на изучаемый объект излучения, размер (4×1) ;

S – вектор-столбец Стокса регистрируемого излучения, размер (4×1) ;

$R(\theta_1)$ – матрица поворота падающего излучения к плоскости рассеяния:

$$R(\theta_1) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\theta_1 & -\sin 2\theta_1 & 0 \\ 0 & \sin 2\theta_1 & \cos 2\theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

M – матрица Мюллера рассеивающего объекта размерности (4×4) , характеризующая рассеивающие свойства поверхности;

$R(\theta_2)$ – матрица поворота рассеянного излучения к плоскости рассеяния $R(\theta_2)$:

$$R(\theta_2) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\theta_2 & -\sin 2\theta_2 & 0 \\ 0 & \sin 2\theta_2 & \cos 2\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Непосредственно расчет матрицы Мюллера в данном исследовании не проводился.

Алгоритм расчета параметров Стокса

В соответствие с представленной функциональной схемой производились измерения интенсивности излучения, рассеянного техногенным космическим объектом. Исследования проводились на базе Рязанской астрономической обсерватории. Измерения интенсивности

рассеянного излучения производились по сетке $6^0 \times 6^0$, $0^0 \leq \varphi_2 \leq 360^0$, $0^0 \leq \theta_2 \leq 180^0$, $\theta_1 = 128^0$. Регистрация интенсивности светового потока осуществлялась с помощью наземных оптических средств на базе ПЗС-приемников. Все расчеты произведены для квазимонохроматического света, т.е. ширина спектра световой волны $\Delta\nu$ на два порядка меньше значения средней частоты световой волны ν_0 . Частоты ν_0 в оптическом диапазоне принимают значения $\approx 10^{14}$ Гц, следовательно, ширина спектра $\Delta\nu \approx 10^{12}$ Гц.

Параметры Стокса $S(\theta_2, \varphi_2)$ численно рассчитаны с помощью четырех измерений интенсивности излучения путем изменения угла наклона анализатора ϕ и сдвига фаз ε между гармониками E_x и E_y с помощью модулятора для каждого измерения [4, 6]. Расчет производился с помощью системы:

$$I_{\phi_k}(\theta_2, \varphi_2) = \frac{1}{2}(S_0 + S_1 \cos 2\phi_k + S_2 \cos \varepsilon_k \sin 2\phi_k - S_3 \sin \varepsilon_k \sin 2\phi_k), \quad k = 1, 2, 3, 4.$$

Матрица системы будет иметь вид:

$$\begin{pmatrix} 1 & \cos 2\phi_1 & \cos \varepsilon_1 \sin 2\phi_1 & -\sin \varepsilon_1 \sin 2\phi_1 \\ 1 & \cos 2\phi_2 & \cos \varepsilon_2 \sin 2\phi_2 & -\sin \varepsilon_2 \sin 2\phi_2 \\ 1 & \cos 2\phi_3 & \cos \varepsilon_3 \sin 2\phi_3 & -\sin \varepsilon_3 \sin 2\phi_3 \\ 1 & \cos 2\phi_4 & \cos \varepsilon_4 \sin 2\phi_4 & -\sin \varepsilon_4 \sin 2\phi_4 \end{pmatrix}.$$

Поле рассеяния второй компоненты вектора Стокса S_1 в сферической системе координат показано на рисунке 2. Ось Oz направлена на источник света.

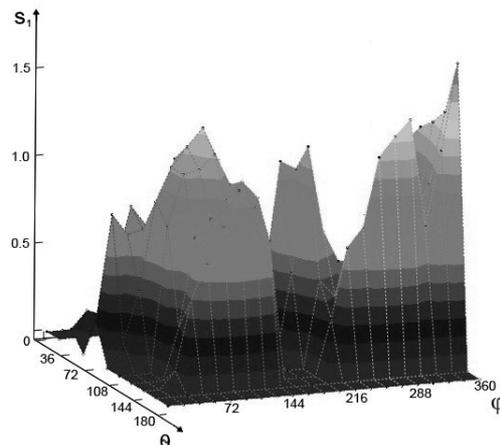


Рис. 2. Поле рассеяния второго параметра Стокса

Расчет коэффициента поляризации и оценка влияния на него параметров Стокса

Коэффициент поляризации P рассеянного излучения связан с параметрами Стокса следующим соотношением:

$$P = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}{S_0}, \quad 0 \leq P \leq 1,$$

$P = 0$ для неполяризованного света,

$P = 1$ для эллиптически поляризованного света.

Поле рассчитанного коэффициента поляризации для изучаемого объекта в сферической системе координат показано на рисунке 3.

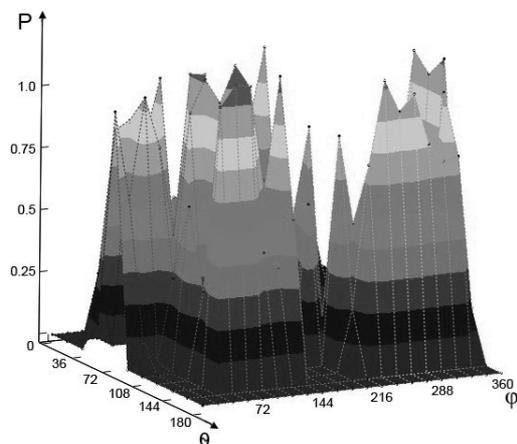


Рис. 3. Поле коэффициента поляризации

Выводы

Получен эффективный по вычислительным затратам алгоритм для расчета параметров Стокса, характеризующих поляризованную световую волну. Данный алгоритм может использоваться при фотометрических исследованиях для приборной схемы: излучатель – объект – анализатор – модулятор – фотоприемник.

Библиографический список

1. Щербаков В.В., Мерзляк А.В, Коскур-Оглы Е.О. Автоматизация бизнес-процессов в логистике: Учебник для вузов. Стандарт третьего поколения. – СПб.: Питер, 2016. – 464 с.
2. Избачков Ю.С., Петров В.Н., Васильев А.А., Телина И.С. Информационные системы: Учебник для вузов. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2011. – 544 с.
3. Горбаченко В. И., Убиенных Г. Ф., Бобрышева Г. В. Проектирование информационных систем с СА ERwin Modeling Suite 7.3: учебное пособие – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. – 154 с.

УДК 004.41; ГРНТИ 50.49.37

АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС ПРОЦЕССОВ СИСТЕМЫ УЧЕТА ЗАКАЗОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

У.И. Липатова, А.Е. Герасимова, О.А. Бодров

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, bodrov.o.a@rsreu.ru

Аннотация. В работе рассматриваются средства автоматизации бизнес процессов при разработке информационной системы учета заказов применительно к предприятиям космической отрасли. Показана необходимость разработки на начальном этапе инфологической и даталогической моделей. Разработана BPMN модель информационной системы.

Ключевые слова: информационная система, автоматизация бизнес процессов, инфологическая модель, даталогическая модель, язык моделирования бизнес-процессов BPMN.

AUTOMATION OF BUSINESS PROCESSES OF THE SYSTEM OF ACCOUNTING ORDERS AT THE ENTERPRISE OF THE SPACE INDUSTRY

U.I. Lipatova, A.Ye. Gerasimova, O.A. Bodrov

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, horek.colupaeva@yandex.ru

The summary. The paper discusses the means of automating business processes in the development of an information system for accounting orders as applied to enterprises in the space industry. The necessity of developing an infological and datalogical models at the initial stage is shown. Developed BPMN information system model.

Keywords: information system, business process automation, infological model, datalogical model, business process modeling language BPMN.

В настоящее время предприятиям космической отрасли приходится осуществлять свою деятельность в достаточно сложных финансово-экономических условиях. Для успешного функционирования предприятия в таких условиях требуется обеспечить максимально эффективную организацию деятельности предприятия на всех уровнях.

Среди всего комплекса задач автоматизации деятельности предприятия по сборке космических спутников, особо выделяется задача учета заказов, как одной из наиболее трудоемких частей деятельности предприятия.

Известные на сегодняшний день информационные технологии позволяют автоматизировать деятельность практически всех уровней предприятия [1]. Исходя из этого, становится ясно, что автоматизация процессов становится главной задачей, которую требуется решить руководству для того, чтобы предприятие работало максимально эффективно.

Система учета заказов осуществляет также и сопутствующие их выполнению функции. Например, управление доставкой заказов. Могут быть задействованы такие дополнительные возможности, как онлайн управление заказами. Существует возможность применять инструмент автоматизированной рассылки на электронные адреса и в виде сообщений на телефон. Использование таких инновационных методов и современных технологий поддерживают оперативное управление заказами.

В настоящее время можно выделить следующие СУБД, которые получили наибольшее распространение среди разработчиков реляционных БД:

1С:Предприятие — это система программ, предназначенная для автоматизации различных областей экономической предприятий, организаций и учреждений, независимо от их вида деятельности и формы собственности, с различным уровнем сложности учета. За счет своей универсальности она используется для автоматизации самых разных участков экономической деятельности предприятия: бухгалтерский, кадровый, оперативный торговый, производственный учет, а также расчет заработной платы, учет товарных и материальных средств, взаиморасчетов с контрагентами.

Microsoft Access - это функционально полная реляционная СУБД. В ней предусмотрены все необходимые средства для определения и обработки данных, а также для управления ими при работе с большими объемами информации.

Автоматизированная информационная система позволит работать с резервом и осуществляет управление заказами на закупку, можно вести складской учет и контроль. Систематизированное управление процедурами заказов благотворно сказывается на заказах. Имеется возможность делать заказ заблаговременно, полностью осуществлять контроль его перемещения, фиксировать неснижаемый остаток наиболее «ходовой» продукции.

Анализ управления заказами на предприятии космической отрасли является тем самым инструментом, который дает почву для развития и роста. Оценка результативности процесса управления заказами в производстве посредством формирования отчетности,

поможет оптимизировать производство, улучшив или устранив невыгодные ниши. Совершенствование управления заказов, таким образом, приводит к улучшению функционирования предприятия в целом.

В ходе автоматизации бизнес процессов системы учета заказов на предприятии космической отрасли была разработана инфологическая и даталогическая модель.

Инфологическая модель системы учета заказов на предприятии космической отрасли может быть описана моделью "сущность—связь", в основе которой лежит деление реального мира на отдельные различимые сущности, находящиеся в определенных связях друг с другом, причем обе категории — сущность и связь полагаются первичными, неопределенными понятиями [2].

Требования, предъявляемые к инфологической модели:

- Адекватность отображения предметной области;
- Однозначность трактовки;
- Точное определение предметной области;
- Лёгкая расширяемость, обеспечивающая ввод новых данных без затрагивания ранее внесённых;
- Возможность композиции и декомпозиции модели в связи с большой размерностью реальных инфологических моделей;
- Лёгкость восприятия любыми пользователями;
- Применимость языка спецификаций модели как при ручном, так и при автоматизированном проектировании информационных систем.

Даталогическая модель базы данных является моделью логического уровня и представляет собой отображение логических связей между элементами данных безотносительно к среде хранения. Даталогическое проектирование представляет собой этап создания даталогической модели. Описание логической структуры базы данных на языке СУБД представляется в виде схемы, как показано на рисунке 1.

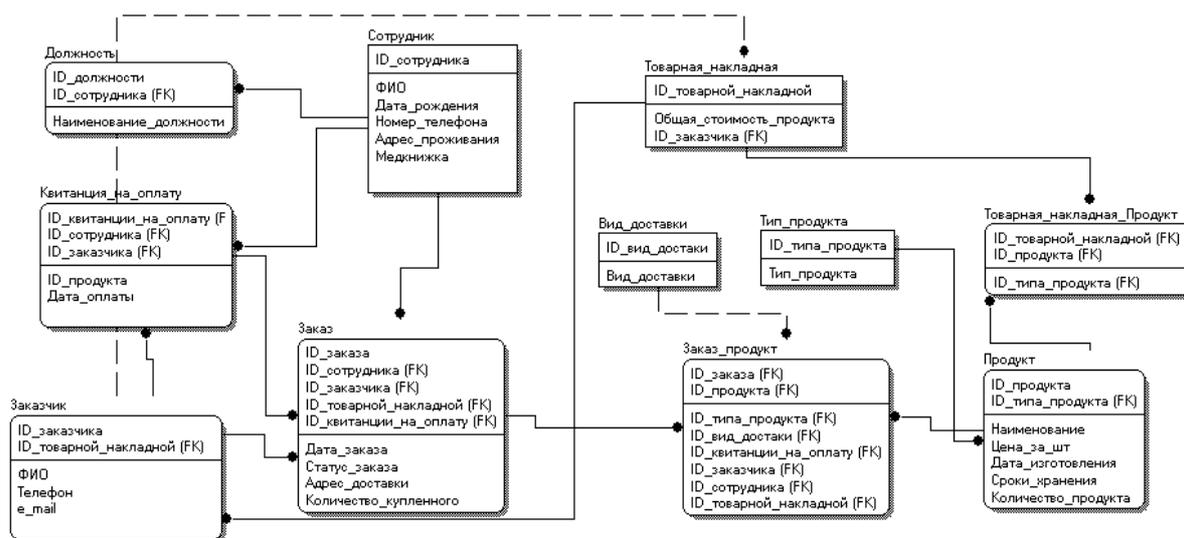


Рис. 1. Даталогическая модель базы данных системы учета заказов.

Для автоматизации проектирования системы учета заказов был выбран язык моделирования бизнес-процессов BPMN. В процессе работы разработаны модель BPMN учета заказов на предприятии космической отрасли, изображенная на рисунке 2, а также ER-диаграмма. Представлена функциональная диаграмма, которая отражает взаимосвязи

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИЯ О МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2018»	3
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ»	5
Секция «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ В ТЕХНИКЕ И МЕДИЦИНЕ»	5
Ашапкина М.С., Алпатов А.В., Чекушин А.А. Современные медицинские технологии физической реабилитации.....	5
Филон Д.Г. Разработка лазерной системы для биологических микроисследований на основе методов компрессии импульсов.....	10
Якименко Н.А., Шуляков А.В., Гуржин С.Г. Непрерывный контроль артериального давления в магнитотерапии безманжетным методом.....	13
Ледков Д. Ю., Кряков В. Г. Электротерапевтическое воздействие на организм человека через точки акупунктуры.....	17
Нгуен В.Л., Гуржин С.Г. Непрерывная регистрация физиологических процессов веб-камерой и формирование диагностических сигналов.....	21
Мухаметзянов О.А., Седов С.С., Галимзянов Э.Р. Анализ статистических закономерностей в задаче определения поздних потенциалов желудочков сердца по фазовому спектру электрокардиосигнала.....	25
Пинчукова В.В., Нгуен В.Л., Гуржин С.Г. Система оперативного дистанционного мониторинга дыхания и сердцебиения пациентам при прохождении сеанса магнитотерапии.....	30
Подчиненов И.Ю. Система лазерного измерения и регистраций механических вибраций.....	33
Ерёмин А.И. Разработка устройства для измерения расхода сыпучих веществ.....	37
Кондрашов А.В., Лукша С.С. Применение программной среды V-REP для исследования алгоритма инверсной кинематики.....	42
Муранова Т.П., Гуржин С.Г. Реализация системы для измерения уровня глюкозы в крови на основе виртуального прибора.....	45
Колбенева К.И. Алгоритмы оценивания параметров посадки судна по результатам измерений корабельных рефлектметрических уровнемеров.....	48
Акамеев М.Ю. Оценка параметров перемещения мобильного робота на основе данных о положении объектов окружающего пространства.....	51
Чудин О.И. Анализ основных параметров среды влияющих на выбор метода измерения уровня акустическими датчиками.....	56

Шоназаров П.М.

О применимости моделированного микроволнового излучения солнца для профилактики и лечения нейродегенеративных заболеваний человека..... 60

Новиков С.А.

Система контроля параметров дыхания пловца..... 72

Трифан А.С.

Разработка метода коррекции оценивания параметров посадки судна..... 75

Секция «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИИ»..... 80

Васильев А.В.

О распределении нагрузок на силоизмерительные датчики платформенных весов..... 80

Соловьев Д.С.

Управление гальваническими процессами с использованием нечеткой логики..... 83

Соловьева И.А., Соловьев Д.С.

К задаче оптимального управления гальваническими процессами получения равномерного покрытия с использованием многоанодных ванн..... 86

Белов В.В., Абрамов Д.Г.

Концепция АСУ ТП производства фибробетона с использованием отходов производства минераловатных изделий..... 90

Дятлов Р. Н., Тинина Е. В.

Теоретический подход к расчёту температурных полей в области катодного пятна при высокоинтенсивных потоках энергии..... 95

Цветков К.Ю., Куличенко Т.А., Тужилкин А.С.

Программирование микроконтроллеров на языке СИ..... 99

Григорьев П., Пронина А.

Разработка программы для генерации калибровочных траекторий робота в MATLAB..... 103

Беспелюхина С.А.

Применение микропроцессорных плат и программных продуктов ARDUINO в профессиональном образовании..... 107

Учасова А.В.

Обзор информационных систем учета ресурсов капитального ремонта автодорог..... 111

Захаркин Н.В., Федоров В.П.

Передача данных о состоянии роботов с помощью оптических маркеров..... 114

Дронов Н.Ю., Грибов Н.В., Мусолин А.К., Миловзоров О.В.

Повышение точности обработки деталей за счет технологических возможностей станков с ЧПУ..... 119

Половинкин В.В., Еремин М.М.

К вопросу о программировании промышленного контроллера OMRON..... 124

Максимов К.А.

Разработка автоматизированной системы управления качеством технологического процесса изготовления моделей из пенополистирола..... 131

Синицын И.Е., Гуськов В.Г.

Повышение эффективности работы электродуговой сталеплавильной печи постоянного тока..... 135

Сосулин Ю.А.

Решение задачи идентификации методом частных регрессионных моделей..... 139

СЕКЦИЯ «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ».....	144
Варгашкин В.Я. Разработка методики выявления событий гравитационной модуляции фонового СВЧ-излучения.....	144
Айтмагамбетов А.З., Кулакаева А.Е., Бутузов Ю.А. О применении космических аппаратов в системах радиомониторинга.....	149
Таганов А.И., Захаров С.П., Балакин В.А. Модель аттестации уровней зрелости процессов разработки программного обеспечения бортовых комплексов.....	154
Балдин А.В., Балдина Н.С., Новиков В.А. Оптимизация методов модуляции речевой информации с борта космического аппарата.....	159
Фетисов Д.В., Колесенков А.Н. Алгоритм субпиксельной обработки цифровых изображений через одномерное сканирование.....	164
Курагин А.В., Колесенков А.Н. Актуальность применения геоинформационных систем в экологическом мониторинге	169
Васильев Е.П., Ермолаев И.А., Сомов И.М. Современные САПР СВЧ и их особенности.....	174
Новиков В.А., Балдин А.В., Балдина Н.С. Разработка перспективной бортовой системы космической радиолинии передачи данных.....	181
Бодров О.А., Грачев М.В., Лбов Д.И. Методы приема и обработки информации с космических аппаратов метеорологической спутниковой системы GEONETCAST.....	185
Богданов А.С. Использование нейронных сетей для решения задач распознавания образов.....	190
Васильев Е.П. Анализ электродинамических методов моделирования микроволновых устройств.....	195
Курагин А.В., Колесенков А.Н., Таганов А.И. Эволюционный подход к задаче дистанционного экологического мониторинга опасных объектов.....	199
Южаков М.С. Создание системы автоматизированных метеостанций по сбору параметров окружающей среды.....	203
Бодрова И.В., Бодров А.О. Алгоритм расчета параметров Стокса в поляриметрии.....	207
Липатова У.И., Герасимова А.Е., Бодров О.А. Автоматизация бизнес процессов системы учета заказов на предприятии космической отрасли.....	211

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

Научное издание

В 10 томах

Том 6

Под общей редакцией О.В. Миловзорова.

Подписано в печать 15.06.19. Формат 60x84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 27,25.

Тираж 100 экз. Заказ № 1539.

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Редакционно-издательский центр РГРТУ,
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.
Отпечатано в типографии Book Jet,
390005, г. Рязань, ул. Пушкина, д. 18